ハードウェアバイブル

Winn L. Rosch

神代敏彦［監訳］

㈱アクシス代表取締役

アスキー出版局

THE WINN L. ROSCH HARDWARE BIBLE

IBM-PC ハードウェアバイブル

Winn L. Rosch
神代敏彦［監訳］

アスキー出版局

■商 標
IBM、PS/2、OS/2、PC/XT、XT、PC/AT、AT、Micro Channel は、米国 IBM Corporation の商標です。
その他、本書で登場するシステム名、製品名は、一般に各開発メーカーの登録商標です。なお、本書では TM、®
マークは明記しておりません。

装丁　川畑博昭

The Winn L. Rosch Hardware Bible

Winn L. Rosch

TO MY FATHER

序 文

仕事のできない人に限って、仕事がうまくいかないと道具のせいにするものだ。しかし、同時にこういう人に限って、その道具の仕組みも理解せず、道具の善し悪しを見分けることもできない。誰もこういう人には、自分にとって重要な仕事——たとえば、自分の仕事の評価につながるもの、収入や予算に影響を及ぼすもの、あるいは、自分の休暇の予定を左右するもの——を任せたりはしないだろう。しかしあまりにも多くの人が、自分の仕事や趣味、家事に不可欠な道具——パーソナルコンピュータ(PC)——について、無関心を公言してはばからない。

現在多くの人々に愛用されているパーソナルコンピュータは、エレクトロニクスのテクノロジーから生まれた、最も重要なビジネスツールである。パーソナルコンピュータは、業務の体系化、経理処理、人員管理といった各企業の業務のほとんどに必要不可欠なものになっている。実際、何らかの業務が行われているところでは、パーソナルコンピュータが活躍している場面を目にするはずだ。もし、この現代のビジネスツールを理解しないならば、割りの悪い仕事でもあればましで、仕事自体を失う羽目にもなりかねない。

しかしながら、金槌やドライバーと違って、パーソナルコンピュータは、その覆い隠された神秘の世界に足を踏みいれたことのない人々の目には驚異の存在として映る。パーソナルコンピュータの修理に対して、心臓手術と同じ様な畏怖の念を抱いている人もいるだろう。しかし、我々のような人間は、コンピュータの内部を扱うことに対してそのような感覚を持つことはない。これは、恐らく専門の心臓外科医の心臓手術に対する感覚と同じである。つまり、心臓手術にしても、コンピュータにしても、それについて十分な知識と理解があれば、むやみに恐れを抱く必要はないのだ。あくまでコンピュータは、人間が作り、人間に使われ、人間に容易に理解されうる、ただの機械なのである。

コンピュータは、未経験の人にとっては近寄り難いものだが、これは考えてみればほかの道具でも同じことだろう。自動車の機械工はミシンを見てめまいを起こすかもしれないが、そのミシンを使って縫製工場や洋服屋で働く人は、車の整備など考えただけでお手上げかもしれない。コンピュータも例外ではない。実際、今日のパーソナルコンピュータは、分解、組み立て、パーツの取り替えや変更が簡単にできるように、あらかじめ配慮された設計になっている。ひどい扱い方をしたり、わざと壊そうとでもしない限り、一般的には、たやすく壊れてしまうものではない。パーソナルコンピュータは機械としては頑丈なほうで、故障も少ない。コンピュータ内のカードの交換は、トースターのような簡単な家庭用品の修理や、車のオイル交換などよりも、誰もが安全かつ容易にできる作業だ。

コンピュータを取り巻いているミステリアスな雰囲気は、コンピュータについて度々人を惑わすような解釈がなされることにその原因がある。まず第一に、コンピュータは「考える」機械といわれるが、そもそもこの「考える」という言葉が、コンピュータに対するすべてのばかげた意味のない思い込みを暗示している——考える機械は狂った心を持った機械で、デスクに居座って陰謀を企み、考え出した悪事の数々が際限なく人々を悩ますのだ。考える機械には脳があり、それを開けて中を細工するなどまさに脳手術だ。故障した機械は病人と同じで、未熟なオペレータが触ろうものなら、取り返しのつかない状態になってしまう。考える機械は、計り知れない複雑な方法で動いているに違いない。その複雑さは、偉人たちの多大な年月にわたる試みにもかかわらず、今日まで未だ誰一人十分な説明ができていない人間の心のようなものだ——と。

しかし、コンピュータは何かを考えたりはしない。少なくともあなたや、かのアインシュタインがするような方法でものを考えるわけではない。コンピュータは感情や動機をもって動作するわけではなく、コンピュータの中を伝わる刺激は、化学物質と電気を流したり止めたりする働きとの奇妙な混合物などではな

い。コンピュータで行われるのは、電気信号を正しく認識し正確に制御する単純な処理である。コンピュータの基本的な働きは、ただ炎が燃焼しているようにしか見えない自動車のエンジンの仕組みなどよりも、もっと理解しやすいものだ。コンピュータと呼ばれる考える機械には、ミステリアスなものなど何も隠れていない。

電気回路がベースになっているということが、コンピュータが何か恐ろしいものに思われてしまう一因であるかもしれない。たしかに稲妻で人が灰になってしまうこともあることを考えれば、電気は危険なものに違いない。しかし、コンピュータの内部にある危険性は実際は低い。コンピュータ内部では、最大でも12ボルトの電流しか流れていないため、その安全性はおもちゃの電気機関車で遊ぶのと同じである。コンピュータ内部で人が簡単に触れられるようなところには、髪の毛が逆立ち、寿命が縮んでしまうほどの感電を引き起こすような電流は流れていない。パーソナルコンピュータは、修理や、アクセサリを付けたり外したりすることをあらかじめ考慮して設計されているのである。

コンピュータが繊細なものに思われてしまうのは、コンピュータを構成している電子部品が繊細で、1個500ドルもするとか、コンピュータを製造している人は感電したときの用心に水道管を握っているというようなことを、人々が勝手に想像しているからだ。事実、電子部品の中には非常に繊細で、実装してないときは細心の注意を払って保管しなければならないものもある。稲妻の百万分の1の電圧しかない静電気でも回路を損なう可能性があり、半導体チップの中の回路は人間の百万分の1の大きさで、人間よりもデリケートな存在である。しかし、当然回路は静電気がコントロールされている。たしかに稲妻の電圧やかなりの量の静電気のスパークは回路にとって有害だが、稲妻にしても静電気にしても、そのリスクを最小限にくいとめることは簡単にできる。大概の場所では、コンピュータの内部回路へのダメージを恐れる必要はほとんどない。

大抵の人がコンピュータに手を触れるのを嫌がる理由は、コンピュータ内部が非常に複雑に見えるからだが、これは真実でもありまた誤りでもある。すべては各人がそれをどう見るかによって決まる。たとえば、ビデオで映画を見ること自体について、いちいち考え込む人はいないだろうが、ビデオの中のワイヤヘッドのことや、画像がシンクロナイズされる仕組み、ハイファイサウンドが記録される仕組みなどについては、しばらくは頭を回転させなければ理解できないだろう。コンピュータもこれと同じで、ボードを交換したりディスクドライブを追加したりすることは、ビデオで映画を見ることと同様に簡単なことであり、一方、ボードの設計やボード上のデジタルゲートを制御するブール論理などを理解することは、ある程度の技術知識を必要とするのである。

オペレーティングシステムが複雑になるに従い、逆にコンピュータの操作の仕方は簡単になってきた。今ではマウスを動かして画面上のウインドウを指し示すだけで、数分で熟練したコンピュータオペレータになれる。これで十分だという人がいるかもしれないが、それはコンピュータと自分自身の可能性を大きく閉ざしていることになる。自分が使っているシステムについて理解を深めない限り、パーソナルコンピュータが持つ全ての能力を引き出すことはできない。また、新たに何かを追加してパーソナルコンピュータをパワーアップさせることもできない。少なくとも、買ったマシンが自分の目的に最も適ったものであるかどうかを知ることはないだろうし、また、値段の張るマシンより、シンプルながらも機能的には優っているモデルがあるということを知ることはないだろう。

コンピュータについて熟練者である必要はないし、コンピュータやデータ処理の理論についての詳細な知識も必要ない。しかし、パーソナルコンピュータを使って自分は何をやりたいのか、またどんなことができるのか、そして、パーソナルコンピュータというシステムを動かし、機能を拡張し、さらには組み立てるための方法やポイント、問題点などについては、やはり理解しておく必要がある。

本書の目的は、コンピュータを恐れるのではなく有効に活用できるように、現在とこれからのパーソナルコンピュータを理解する一助となることである。そのため、本文の構成は、コンピュータシステムの構

成要素が概観しやすいように配慮した。本書で検討された内容からは、コンピュータが動く仕組みについて十分な基礎知識が得られるだけでなく、さらに一歩進んだ探求や、システムの拡張やアップグレードなどの際に必要となる解説や情報も盛り込んである。同時に、ここで得られた知識を実際に応用するために参考となる資料も図や表にまとめて掲載した。専用のアダプタやケーブルを自分の手で作ろうという人にとっては参考となる内容もあるはずだ。全体として本書は、パーソナルコンピュータに対する理解を助け、コンピュータや周辺機器の選択にあたっては必要な情報を提供し、加えて、コンピュータシステムに対する理解を深めるための入門書としても有効なものとなったと思われる。

コンピュータは恐ろしいものでもミステリアスなものでもない。コンピュータは単なる機械であり、しかも、機械としては単純で、本書を読むわずか数時間で習得可能な機械なのである。

目　次

第9章 ■ 電源 ―― 231

第10章 ■ ケース ―― 259

第11章 ■ 入力装置 ―― 285

第12章 ■ ディスプレイシステム ―― 315

第13章 ■ ディスプレイアダプタ —— 343

第14章 ■ ディスプレイ —— 381

第15章 ■ パラレルポート —— 421

第16章 ■ プリンタとプロッタ —— 431

第1章

業界標準

パーソナルコンピュータとは何かを定義することは、実際に自分がその仕事を命じられるまでは、とても簡単なことに思われるだろう。しかし、いざその課題にとりかかると、パーソナルコンピュータという言葉は、(生物学者たちをぞっとさせるような考えだが)まるで、アメーバとカメレオンの異種交配の産物のようなものに、みずからを変えてしまう。

たとえば、文字どおりにとらえるなら、パーソナルコンピュータとは、複数のオペレータによって共有されるものではなく、単独の個人によって使用されることを意図したマシンということになろうか。しかしこの定義では、高価なグラフィックワークステーションからワープロ専用機のたぐいまで、その仲間に含まれてしまうことになる。

あるいは、処理能力を基準にすれば、パーソナルコンピュータはメインフレームやミニコンピュータより処理能力の低いもの、といった定義も可能なように思われるかもしれない。しかし、今日ではもはや、処理能力のみでコンピュータを区別することはできない。今日のパーソナルコンピュータのなかで最高速のものは、ほとんどのミニコンピュータをやすやすと凌ぎ、低価格のメインフレームに匹敵するほどである。また、価格でパーソナルコンピュータを定義するのは、あまりにも現実味に欠ける方法だ。価格範囲が広すぎて、どこにも有効な境界線を引くことができないのだ(実際、いたるところで、新品のパーソナルコンピュータが、200ドルから20,000ドルといった幅で売られているのを目にするだろう)。

では、初めてこの言葉を公に用いたマシンである、初代のIBMパーソナルコンピュータ(IBM PC)を基準にして定義を試みたらどうだろう。ただし、このマシンは十数年も前の製品で、今日のパーソナルコンピュータの世界にはほとんど関係のない、電子機器の骨董品のようなものではあるが。

初代のIBM PCは、出発点という役目を果たしたといえる。初代のPCは、すでに生産を停止されて久しいが(最後に生産されたのは1984年)、漠然としていたパーソナルコンピュータという概念を具体化したものとして、現在でも意義のあるマシンだ。IBM PCは、現在知られているようなパーソナルコンピュータテクノロジーの土台に位置している。すなわち、パーソナルコンピュータの最初の標準になったシステムなのである。そして、パーソナルコンピュータにこのような標準ができたことは、ほかのブランドのパーソナルコンピュータが成功を収めるのに、大いに役立つことにもなった。しかしその一方では、当然の結果ながら、同じ標準を維持することで、コンピュータの設計は過去のテクノロジーに閉じ込められてしまい、その進歩は緩慢なものになってしまった。

今日、パーソナルコンピュータの処理速度は初代のPCの100倍も速いとはいえ、いまようやく、最初の設計によってもたらされた限界を飛び越えようとしているところだ。初代のPCとそれを受け継ぐマシンが、確固たる地位を築いてしまったため、これまで、この標準から逸脱するような新技術の受け入れは、遅々として進まなかった。現状からなかなか離れようとしないこの緩慢な動きには多くの理由があり、それがゆえに、IBM自身でさえ欠陥があることを認めている最初の設計に、パーソナルコンピュータは現在でも変わらず従い続けているのだ。

しかし同時に、このパーソナルコンピュータ産業は、ようやくIBM PCという標準を超えて、新しく、より便利な処理能力の高いマシンに向かって進み始めている。新しいアーキテ

クチャやオペレーティングシステムによって、IBM PC が発表当時に想像されたものを超える、高速な処理能力が次々ともたらされつつある。しかし、最新のコンピュータハードウェアも、その起源は初代の PC にある。そういう意味では、パーソナルコンピュータの定義と、その動作の仕組みについて検討を始めるにあたって、今日までのパーソナルコンピュータの歴史を振り返ってみるのも、意味のあることだろう。

1.1 PCの起源

ちょうど1980年代の幕開けとともに始まった10年間にわたって、フロリダ州ボカラトンにあるIBMのEntry Systems Divisionで、一見気まぐれだが、その実は実用的な数々の決定が下されなかったなら、本書は存在しなかったであろうし、パーソナルコンピュータ業界も、今日の形では存在していなかっただろう。その決定は、1981年8月12日、IBM PCの発表とともに頂点を迎えた。

IBM PCは、この大改革が始められた当初に、理想主義者たちが目指したものからはほど遠く、一部の限られた人たちが使用するマシンとして作られた。当時のIBM内部の情報筋によれば、PCは約10万台の販売台数が期待でき、おもにコンピュータの可能性の探求に熱心なホビイストたちの心を動かすだろう、といわれていた(しかしもちろん、ホビイストたちは誰ひとり、この電子機器の骨董品を使って実務的な作業を行おうなどとは思っていなかった。実際には、実務的な計算処理作業は、依然としてメインフレームコンピュータの世界で行われていたのだ)。このときすでに、ホビイストたちは、ほかの小型コンピュータを使ってプログラミングの探求を始めていた。そしてIBM PCは、それらとはまったく別のものと見なされていた。

IBM PCが作られた理由は、次のように推測できるかもしれない。たとえば、ホビイスト市場での足掛かりを得ようとした。あるいは、ニューテクノロジーの分野を探求するツールとして利用されることを目指した(IBM自身は、すでにスーツケースサイズのポータブルマシンである、「モデル5100」という小型コンピュータを作っていた)。あるいはまた、そもそもこのプロジェクトは、興味を持ったIBMの一部のエンジニアが、会社の公式の許可のもとで、純粋に挑戦してみたかっただけのものかもしれない。

このような市場の状況を頭におけば、最初のパーソナルコンピュータの設計に影響を与えていたもののひとつは理解できる。このマシンは、コストダウンを実現するために設計上多くの妥協がなされ、ほかには特別な意図はなかった。振り返ってみると、パーソナルコンピュータの設計において、偶然と思われる要素のほとんどが、じつはIBMのみごとな手腕によるものだったのかもしれない。コストダウン以外の目的を持たなかったおかげで、この至ってシンプルな創造物は、多種多様な分野で成長し、多くの主人に仕え、真の汎用コンピュータになりえたといえるのだ。

IBM PCがリリースされた最初の数ヶ月間、世界の人々と同様に、IBM自身も驚きの連続であった。供給をはるかに上回る需要、その結果の品不足。信じられないような、そして思いもかけない利益を手にしたIBM公認ディーラーたちは、小さなシリコンが大変な価値を持っていることを知った。

日和見主義的な設計

パーソナルコンピュータの動作のメカニズムや、拡張の方法、設定の変更の方法について十分に理解したいのなら、IBMの最初の設計において、妥協されるにいたった問題点について検討することから始めるとよいだろう。ただし、なぜこんなにもいろいろな部分で成功を収めたのかは推測の域を出ない。この初代のPCの裏側にある本当の動機や設計上の諸決定は、永遠にIBMの機密事項である。PCの成功は、IBMの、偶然に何かを見つけ出す才能と、実際的で要点をついた意志決定の両方に、等しく起因していると考えるのが、可能な限りでは最も正しい推測であろう。IBMは、小型コンピュータがホビイストたちに受け入れられ、徐々に小規模の事務処理でも使われ始めている状況を、なんとか利用したいと考えていた。そして、デスクトップコンピュータが、そこに絶好の機会を提供した。IBMは、このチャンスを見逃すわけにはいかなかった。かつてIBMは、ミニコンピュータでチャンスを掴みそこなっていたのである。大方の産業アナリストたちは、1970年代から1980年代当時の第2位のコンピュータメーカーであっ

たDigital Equipment Corporation(DEC)の驚くべき成功の理由を、IBMがミニコンピュータ分野へ、素早く完全に移行できなかったことにあると考えている。

IBM最初の純正デスクトップマシンを開発するために、IBMのエンジニアたちが最初に行ったことは、すでに市場にあって、三々五々マイナーチェンジされていた小型コンピュータの数々のアイディアと、IBM独自の新製品を開発するにあたって発明された革新的な技術を、吟味、取捨選択し、融合することだった。そして製造にあたっては、もし製品が不発に終わっても損害が大きくならないように、市場に広く流通している部品や、ほかのメーカーが製造しているコンポーネンツを、マシンの大部分に使用するようにした。また、万一失敗しても、彼らの本業であるメインフレーム関連の重要な製品の生産に、即座に戻れるような態勢をとっていた。設計コンセプトは、ホビイストのおもちゃになっていたマシンから借用し、また、半導体部品については、市場で広く入手可能なもので、かつそれ専用の特殊な設計作業を必要としないものを、巧みに利用した。そして、オペレーティングシステムは、小型ビジネスコンピュータに使用されていたなかで、最も普及率の高いものをベースに開発を行った。

競合コンピュータメーカー

PCの設計にあたって、こうした設計要素があえて採用された理由を理解するには、当時の小型コンピュータ市場において、何が起こっていたのかを思い出す必要がある。1980年、〝パーソナルコンピュータ〟という言葉はまだまだ進化の途中にあり、ハードウェアも同じ状態だった。「典型的な」小型コンピュータは出現しておらず、この用語は、特定のタイプのマシンを示すものではなかった。設計の種類も多岐にわたり、今日に比べると、設計における選択範囲も広範だった。製造メーカーはそれぞれ、最適な設計を行うための独自のアイディアを持っていたが、それでも、実際に利用されていた小型コンピュータを分類すれば、そのほとんどが3つの大きなグループのいずれかに属していた。これらのグループのうちの2つは、それぞれ1つのメーカーによって完全に押さえられた形になっており、残りの1グループは、共通のオペレーティングシステムで統合されていた。

■ Apple Computer

デスクトップコンピュータの競合製品のなかで、その寿命と支持率の点で最も注目すべき製品、つまり最も少ない変化で最も長い間生き残ったマシンは、過去そして現在においても、最初の「Apple II」である(先行機の「Apple I」は、商品というよりも、設計努力の結晶というようなもので、かつてHewlett－Packardのエンジニアであった Steve Wozniak と、想像力に富んだセールスマンとしてもっとも注目された Steve Jobs によって、ガレージの中で産み出された)。Apple IIの設計は、革新的で工夫に富んだものだった。その特徴とテクノロジーについては、IBM PCの設計について本書で検討していくなかで、詳しく知るところとなろう。

最初のApple IIは、初期のシングルボードコンピュータのひとつとして、また、補助装置(およびそのほかのオプション類)が接続できる、専用の拡張バスを特徴としたコンピュータとして、ひとつの道を切り開いた。Apple IIは、(少なくとも基本機能については)シングルプロセッサをベースとし、これによって動かされるべきものはすべて、1枚の(かなり大きいものではあるが)**ガラスエポキシプリント基板**(PCB：Printed Circuit Board)上に実装したという点で、シングルボードコンピュータであった。増設されるPCBは、拡張バスによって、マイクロプロセッサにほぼ直結された形で接続された。シンプルさと実用性、そしてコストダウン効果を上げるという理由から、電子回路が組み込まれている本体に、キーボードまでも一体化した。

Apple IIの中央演算装置は、8ビットの演算処理を毎秒約1万回(1MHz)の速度で実行できる、「6502」という集積回路だった(当時としては画期的なチップ選択である)。

今日のパーソナルコンピュータと比べれば、Apple IIはまだまだ発展途上のものであった。Apple IIの最初の設計は簡単なもので、小文字

のアルファベットはなく、画面には1行40桁のテキストしか表示できなかった。また、搭載されていたメモリは、わずか8Kバイトで、永久記憶装置の容量をより大きくするために、半導体メモリからオーディオカセット装置の磁気テープ上に、データを転送できるようになっていた。

しかし、Apple IIは、それ以前に登場していたコンピュータと比べれば、買って箱から出してプラグを差し込むだけで、すぐにコンピュータとして使えるという点で、画期的なものであった。それ以前の小型コンピュータでは、すくなくとも普通程度の技術知識と、確実に動作することさえ保証されていない部品を組み立てる、退屈な作業に耐える忍耐力、そして、「実際にこれは動くのだ」という、知識と忍耐を超えた〝信念〟のようなものまで要求されているのが普通だったのだ。

Aplleはこのあとすぐ、その後のすべてのパーソナルコンピュータにおいて標準となった、特徴的な機能をいくつか追加した。80桁の小文字アルファベット、ビットマップグラフィックス、「Apple DOS (Disk Operating System)」で制御されるディスク装置である。ただし、これらの機能が必要になることは、最初の設計であらかじめ予見も考慮もされていなかったため、機能追加にあたっては、きわめて巧妙な（そして十分に検証された）設計が必要だった。そして結果として、一応動作はするが、中途半端な追加物の集合体になってしまった。スクリーン上では連続している文字データのメモリ構成が、複数のメモリブロックに分散されてしまったのは、その一例である。いまになってみれば、簡単な調査をするだけで、Apple IIの設計上のこれらの弱点はすぐに明らかになるので、ほかのメーカーの設計では、このような問題は容易に回避されている。

■ Tandy／Radio Shack

PCの前身ともいえる小型コンピュータ設計の第二陣は、〝Radio Shack〟という旗の下に結集した。電池や玩具類から、時計、電話にいたるまで、ありとあらゆる製品を販売する、町角の電気店として有名だったRadio Shackが、様々なテクノロジーやマイクロプロセッサ、オペレーティングシステムをベースにして、多種多様なマシンを製造することになり、小型コンピュータも、その広範な取り扱い製品のひとつに加えられることになった。Radio Shackがこのように、バラエティーに富んだ製品を扱っていたのは、より広い市場へアピールしたいとの意図からである。IBMから最初のマシンが発表された当時、リーダー的存在のマシンといえば、モニターとキーボードと本体が一体になった「TRS−80」というデスクトップコンピュータで、「Z80」マイクロプロセッサが採用されていた。このマシンでは、カセットとフロッピーが両方使用でき、フロッピーのほうは「TRS−DOS」——その中傷者にも支持者にも、TRSをもじった〝Trash〟（屑）DOSという名で広く知られていた——を使用していた。

しかし、モデル名にこじつけた悪いあだ名を付けられたこともひとつの理由として、このコンピュータのブランドは、市場から消えることになった。このくだらないあだ名ができた数年後には、Radio Shackの親会社であるTandy Corporationは、TRSという名称だけでなく、「Radio Shack」のラベルも製品から外すことを決め、名前を付ける代わりに、暗示的な意味をほとんど持たない、モデルナンバーで呼ぶことにしたのだ。

TRS−80の長所のひとつは、大文字と小文字で80桁のテキストが表示できる点である。一方、最大の欠点はその形で、前世代のキャデラックのテイルフィンに美的興奮を感じる人にだけ、魅力的に映るような類のものであった。あらゆる部分が、丸みを帯びた曲線でデザインされ、表面のプラスチックには金属加工が施され、ビジネスマンよりはむしろ、好事家にうけるような代物だった。

■ CP／M

小型コンピュータの3番目のグループは、「CP／M」(Control Program for Microcomputers) オペレーティングシステムの周りに集まった。CP／Mは、当時、とてもポピュラーで性能の高いマイクロプロセッサであった「8080」と「Z80」を、フロッピーディスク装置と一緒に使用できるようにするものだった。CP／Mは、その安さと有効性から広く利用され、標準となるにいたった。

テレタイプのインターフェイスは、独立した端末装置と中央演算装置で構成されるコンピュータシステムで使われており、装置間をつなぐ細いワイヤーを通して、1回に1ビットずつ転送が行われるように設計されていた。CP／Mベースのコンピュータは、これと同じインターフェイスを使って、小文字を含む80桁のテキストを、テキスト専用ディスプレイに表示できるという特徴を持っていた。

マイクロプロセッサとオペレーティングシステムの結合は、ワープロから経理事務まで、ビジネスにかかわる繁雑な業務を処理するのに、十分な能力を生み出した。これはまさに、ビジネスにおいて求められていたものであり、この結果、CP／Mコンピュータは、デスクトップマシンのなかで、業務用の標準機となった。80年代の初めごろ、CP／Mでは、ほかのどのオペレーティングシステムよりも多くの、ビジネス専用ソフトウェア(数十行を越えるBASICコードからなるものもあった)が使用できた。

1.2　IBMの戦略

IBMにとって、このような環境は、PCを作るひとつのきっかけになった。このころまでに、小型コンピュータ市場は、年間数万台におよぶ流通規模にまで拡大し、あきらかに無視できないほどの大きさになっていた。IBMにとって、この成長の基盤にあるのがビジネスユーザーであるならなおさらである。IBMという社名のまんなかの〝B〟は〝Business〟の頭文字であることを思い出してほしい。

名誉挽回

これに加えて誘因要素となったのは、IBMが、旧世代のミニコンピュータにおいて失敗したことである。市場が小さく、利益も少ないことを理由に、IBMが、段階的に高まっていくコンピュータ勢力の第一段階を黙殺していたとき、DECは小型コンピュータにおいて有力な足掛かりを得て、着実に後続機の開発にいそしんでいた。DEC製品のユーザーが、より高い性能を持つコンピュータに移行していくのに従い、DECはユーザーの求めるマシンを作って彼らに随従し、絶えず成長を続け、ついにはIBMの最大のライバルになったのである。

小型コンピュータの新たな勢いを目の当たりにしたIBMは、早急に、ただし最少のリスクで、市場に参入することを決定したのだった。

市場獲得計画

この目的を達成するのに最も有効な手段は、おそらく〝買収〟という戦略を突き進めることだったろう。IBMは、小型コンピュータの製造メーカーを買収したり、その会社と製品を、自分の本社機構に統合してしまうことは簡単にできた(事実、あとになってIBMは、Rolm Corporationを買い取り、コミュニケーションビジネスに大きく足を踏み入れ、徐々にこの会社をIBMの本流へと組み込んでいった)。たしかにこの時点において、買収すべき対象がAppleであることは自明の理だったが、Appleは、IBMがターゲットとしたタイプではなかった。当時のAppleの製品は、ビジネス用のアプリケーションに照準を定めたものではなく、相も変わらずホビイストたちを相手にしており、IBMが目的とする市場には参入していなかった。

また、当時Appleは、一企業としてもコンピュータ製造メーカーとしても、実績というものがほとんどなかった。しかしこれは、小型コンピュータの製造から始まったほかの会社すべてにいえることで、そもそもこの業界自体が古いものではなく、各会社の歴史が浅いのは当然のことである。とはいってみてもやはり、Appleは創業したばかりの何の実績もない弱小企業であり、その将来性を不確定なものと考えるのは、常識的な判断である。さらに、Apple唯一の製品であるApple IIは、設

計自体が良いものとはいいがたく、IBMのビジネス専用マシンという製品コンセプトにも合うものではなかった。

Radio Shackを取得することは、この代替案としては無理があった。Radio Shackおよび親会社のTandy Corporationは、たしかに利益という明確な実績は持っていたが、コンピュータ自体は、その利益に対してほとんど貢献していなかったし、量販店においても、コンピュータの全売り上げに占める割合は、ごくごく小さなものだった。これではまるで、一杯のコーヒーを手に入れるために、レストランを買うようなものである。

ほかの小型コンピュータメーカーは、Radio Shackに比べても、なおさら魅力に欠けるものだった。いずれにしてもIBMは、〝マイクロコンピュータファクトリー〟と楽天的に呼ばれていたどこかの誰かのガレージを、あえて自分のものにする必要など、まったくなかったのである。

自社開発戦略

IBMにとって、自社独自のマシンを開発することは、まったく無理な話ではなかった。IBMはすでに、持ち運び可能な外形（といっても、実際のその姿と持ち運びに必要な腕力は、そのイメージからはほど遠いものだったが）を持った「モデル5100」という小型コンピュータを作っていた。5100にはフロッピーディスク装置は搭載されておらず、そのような技術革新の恩恵を受けない製品だった。本来はIBM社内で使うことを目的に作ったもので、市販用ではなかったのだ。

マイクロプロセッサの選択

IBM PCを、マイクロプロセッサをベースにして構築すべきだったことは、疑うまでもないだろう。そもそも、小型コンピュータを実用的でかつ生産可能にしたのは、優秀なチップであった。問題は、どのチップを採用するかということだった。

Appleが選択した6502は、1981年にはもはや時代遅れと見なされていた。8ビットチップである6502は、一度に8ビットしかメモリのデータを読み書きせず、また約1MHzのクロック周波数でしか動作しないからだ。Z80搭載のCP／Mマシンによって得られた性能に比べると、6502の処理能力は見劣りがする。

Z80も8ビットデータエンジンであるが、命令処理の点で効率が優っており、6502よりも速く動作することができる。しかし、それにも増してZ80マシンに大きく味方した重要な点は、巨大なCP／Mソフトウェアライブラリだ。IBMは、Z80をベースにしたマシンを設計しようとして、マーケティングの問題にぶつかった。Z80ベースのマシンでは、既存のCP／Mマシンの一群の中で目立つことは、難しいと考えたのである。もしIBMがCP／Mコンピュータを作っても、ほかの製品に対してハードウェアとしての優位な点などなく、IBMの販売部隊が、マーケティングに利用できるような謳い文句のひとつもなかっただろう。

一方、Intelの「8088」は、Z80にたいへんよく似た仕様で、ソフトウェアをその上で走るように移植することが簡単にできた（少なくとも当時はそのように考えられていた）。さらに、8088はZ80に優る2つの重要な違いがあった。Z80よりも内部レジスタが広いことと、メモリのアドレッシングエリアが大きいことである。

8088は、情報が8ビット単位でチップを出入りするという点では、たしかに8ビットプロセッサであるが、16ビットのレジスタを持っているため、内部処理の多くは16ビット単位で実行される。また、Z80は65,536バイトのメモリ（64Kバイト）しかアドレスできないのに対し、8088はその16倍、つまり1,048,576バイト（1,024Kバイトまたは1Mバイト）まで扱うことができた。8088は、少なくともZ80よりは優れた潜在能力をもつマイクロプロセッサだったのである。しかし、80年代初めには、もっと強力なチップを使用することが可能だった。たとえば、8088の前に作られた上位製品の「8086」は、パッケージこそ大きかったが、8088と同様に、16ビットの内部アーキテクチャと広いアドレッシングエリアをもち、さらに外部に対して16ビット接続を使用していた。この違いによって、同じ周波数で動作させる場合でも、8086は8088の2倍の速さにできる潜在能力をもっていた。

しかし、IBMが8086というフル16ビットパ

ワーを採用しなかったのには、十分な理由がある。80年代初頭、マイクロプロセッサのサポートチップの価格は、今日と比べてたいへん高かった。これはメモリも同じことで、たとえば、1Mバイトのメモリの価格が現在50ドル程度とすると、最初のPCが発表された当時は、16Kバイト(1Mバイトの1/64)のメモリでもそれと同じぐらいの値段だった。フル16ビットバスの構造など採用してしまうと、そのコンピュータのコストは、相当に高くなってしまうのである。

マーケティング上の手段として16ビットアーキテクチャを採用することは、IBM PCの設計を担当したエンジニアたちにとっては、おそらく何の意味もなかっただろう。これは、8088が内部的には16ビットであったため、実質的には8ビットだったPCを、あとから再度16ビットコンピュータとして宣伝できたことがおもな理由だ。性能は現実的な問題ではなかった。8086を使えば優れたマシンになるが、市場では性能はまったく要求されていなかった。要するに、コンピュータは持つこと自体に意義があり、8ビット設計と16ビット設計の性能の違いを比較することは、無意味だったのである。8ビット設計のほうが、より簡単により早く設計でき、また、16ビット設計と比較しても、市場における不利な点はなく、費用も少なくて済む(これはたいへん有利な点である)。結果として、8088のほうが、8086よりも人々に受け入れられたのである。

ほかのチップは、選択の対象に加わることができなかった。Motorolaの「6800」はフル16ビットチップだったが、ひとつには同じくフル16ビットである8086と同様の理由から、もうひとつには簡単にCP/Mを移植できないという理由から、このレースには敗れた。Texas Instruments系のマイクロプロセッサも、また同様の理由で負けた。その結果として、8088が選ばることになったのである。こういう結果になったひとつの理由は、IBMの気まぐれとか移り気な決定のせいというよりも、性能を向上させていくことが、マイクロコンピュータにおける大きな課題であると認識する、先見の明を欠いていたことである。

メモリの問題

マイクロプロセッサか決まったら、次に選択しなければならないのはメモリである。これについては、様々な面から検討されなければならない。コンピュータシステムのメモリは、物理的(どのような種類のメモリをどのように接続すべきか)かつ論理的(メモリの各ロケーションをどの用途に割り当てるべきか)な見地から設計されなければならない。これに加えて、プログラムとデータの保管領域である、〝マスストレージ〟も決定しなければならない。

メモリの物理的な検討課題、すなわち、使用するハードウェアは、簡単に決定された。PCが初めて設計された当時は、16,384バイト(16Kバイト)のメモリが最も大量に流通しており、経済効果もあった。ほとんどの競合マシンも、これをベースにしていた。

このメモリの中でも、特に経済的で最も普及していたタイプは、1次元配列、つまり、1ビットの情報を格納する番地が16,384個あるという構成をとっていた(ほかのタイプのチップは、1つの番地が4ビットで、一回に1/2バイト、すなわちニブル単位で記憶していた)。この1次元チップの場合、構造が1次元であるため、バイト単位の情報を保管するには、最低8個のチップが必要である。

基本であり、最小でもある8個のメモリチップに対し、IBMは、さらにもう1個のメモリチップを加えた。メインフレーム業界では、データの保全は極めて重要な問題であり、このため、大型コンピュータは、メモリエラーを検出し、可能であればそれを修正するための複雑な機構を備えている。IBMは、メモリの品質に対する保険として、メインフレームで使用されていた方法、つまりメモリビットが無作為に変ってしまった場合に、それを検出するシステムを、PCに採用することにした。データ保全に重点を置くというこのアプローチの仕方は、IBMが数年間にわたって行った、パーソナルコンピュータに対する様々な試みを特徴的に表わしている。

最も簡単にできるエラー検出の方法は、1バイト中のすべてのビットを加算した結果に、さらに特別なパリティビットを加えた結果が、つねに偶

数になるようにするというものである。1ビットが変化してしまうと、合計が奇数になるため、エラーが発生したことがわかるわけだ。この特別なパリティチェックビットには、8個のメモリチップのほかに、1個余分に RAM チップが必要になる。こういうわけで、PC は9個のメモリチップを装備していたのである。

「これからのプログラムは、16K バイトのような小さなメモリでは、ほとんど動かないだろう」と考えた IBM のわずかな先見の明により、PC にはメモリを追加するためのスペースが用意されることになった。合計で27個の空きソケットによって、最初の PC は、64K バイトまでメモリを増設することができた。また将来の可能性を考慮し、512K バイトまでシステムを拡張できるように、拡張 RAM ボードをインストールする際の規定も作られた。512K バイトは、当時はまだ不慣れだった IBM のエンジニアたちが、これだけあればどんなプログラムの必要も必ず満たせるだろう考えた容量である。

IBM のエンジニアたちは、8088のアドレッシングエリアの残り半分に、特定の用途を割り当てた。この中の一部分は、画面に表示される画像を電子的な形式で記憶する場所、すなわち〝ビデオメモリ〞として割り当てられ、残りの部分は、まとめて〝BIOS (Basic Input／Output System)〞と呼ばれている、ROM に常駐させるプログラム用のエリアに割り当てられた。これらの用途を割り当てられたメモリエリアのうち、実際に使用されたのはごく限られた一部で、ビデオメモリ用の 4K バイトと、BIOS 用の 16K バイトの合わせて 20K バイトたらずであったが、IBM はこれらのメモリ領域がいつか必要になることを確信していた。

マスストレージについて IBM は、ほかのパーソナルコンピュータメーカーがすでに使用していたのと同様のオプションを、ほとんど無差別に採用した。当時としては小型であった、5.25インチのフロッピーディスクなどは、おあつらえ向きだった。というのは、これはすでに、小型コンピュータで使用されていたものだったし、5.25インチフロッピーの従兄弟にあたる8インチのフロッピーディスクについては、「ディスプレイライター」のような製品で経験済みだったからだ。

しかし、当時は、マスストレージに巨大な容量が必要とされることを、だれ一人として予見していなかったため、実際には2面使うことができるディスクを、片面しか使用しないことになった。これにより、容量は 160K バイトに限定されたが、おかげで安価なドライブが使用できた。今日の標準と比べれば、この容量はじつに貧弱なものだが、ほかの小型コンピュータが、80K～130K バイトのドライブを使用していた当時にしてみれば、格段に大きかったのである。

ただし IBM は、マスストレージにおける自らの賭けに関して、初代 PC ではカセットポートを用意することで、いざという場合の逃げ道を用意した。500ドルもするフロッピードライブの代わりに、既存の20ドルのポータブルテープレコーダで、プログラムやデータの記憶だけでなく、他人とのファイルの交換もできるようにしたのである。しかし、カセットテープは遅くて不便であり、あとから考えれば、特に PC とっては不適当な代物だったといえる。ただ、対象とするユーザーが絞られていなかった PC にとって、もしホビイストがその主要なマーケットになっていたら、現在でもカセットポートを使用するユーザーがいたことは確実だ。

初代 IBM PC の基本設計には、新技術が反映されている。マシンはマイクロプロセッサをベースにして構築されており、マシン自体が、本質的にはチップの拡張部のようなもので、マイクロプロセッサに情報を与え、結果を受け取るという動作の必要性を満たすように拡張されていった。マイクロプロセッサベースの設計では、必要不可欠な回路はすべて1枚の PCB 上に配置されることから、〝シングルボードマイクロコンピュータ〞と呼ばれる。Apple (およびそのほか多くのコンピュータメーカー) と同様に、IBM は補助装置の増設のために、このボードに拡張スロットを用意した。

IBM は、CPU でさえも拡張ボード上に搭載されるような、バスをベースにした PC を設計することもできた。しかし、よくよく考えればこの方法は排除される。つまり、必要な回路すべてが必ずしも1枚の拡張ボードに収まるとは限らないか

らだ。このため、IBMはPCを設計するにあたって、システム回路の大部分が収まる1枚の大きな回路ボードを使用することにし、様々な拡張は、このシステムボード上で行うことにしたのだ。

BASIC言語

コンピュータを有効に使用するには、プログラムが必要である。そしてその必要を満たす方法は2つある。ひとつは、〝アプリケーションソフトウェア〟(または単に〝アプリケーション〟)と呼ばれる、既製品のプログラムを使用することで、このソフトはコンピュータにロードしさえすれば動作させることができる。もうひとつは、プログラミング言語を使う方法で、コンピュータのユーザーはこれを使って、自分でプログラムを書くことができる。PCが発表された当初、PC用のアプリケーションの数はごくわずかで、ほとんどがIBMの要請を受け入れて作ったようなものだった。さらに、巣立ったばかりのこのPCが、最も受け入れられたのはホビイスト市場で、彼らホビイストたちは、自分の手でプログラミングを楽しもうとしていた。実際、当時のホビイストたちは、あたかも貯水池のように、自分以外の人にも、アプリケーションという〝水〟を供給していた。PCは、このホビイストの欲求に、素晴らしい機会を提供した。というのは、アプリケーションを走らせるこの安いハードウェアが、アプリケーションの開発に利用できたからである(これに対し、初期の小型コンピュータの多くは、ソフトウェアの作成には、ホビイストには手が出せないような、たいへん高価な開発用システムが必要だった)。

PCが採用したプログラミング言語は、「BASIC」(Beginners' All−Purpose Symbolic Instruction Code)と呼ばれるもので、その名が示すように、本来は、初心者でも容易に習得できる言語として作り出されたものである。ほかにも、多くのプログラミング言語があったにもかかわらず、IBMが、PCにBASICを搭載しようと考えたのは、小型コンピュータメーカーやホビイストたちに、この言語が受け入れられていたからだ。また、メモリの少ないマシンでも使用可能なほど、規模の小さい言語であり、モデル5100におけるIBM自身の経験があったという理由もあった。5100では、BASICのほかにも「APL」(A Programming Language)というプログラミング言語も使用されており、多くのユーザーは、こちらを好んで使っていたのだが、選ばれたのはBASICのほうだった。

IBMは、BASICの基本ルーチンを、書き換えることのできないROMチップに入れた。マスストレージはもともと、最初のPCではオプションだったので、マシンの内部にプログラミング言語が登載されていないと、ただの植物状態も同然になってしまう。BASICは、マスストレージのないマシンでも、制限付きながら使用できるようにしたのである。ROMチップにBASICを搭載することによって、ディスクドライブがなくても、プロンプトの状態でプログラムを入力すれば、いつでもそれを走らせることができ、フロッピーディスクドライブが買えないほどけちな人でも、カセットテープにプログラムをセーブしたり、ロードすることが可能になった。

初めのうち、プログラマの中には、マシンに標準装備されているBASIC言語を使って、アプリケーションを書く者もいた。第一世代のPCと互換性を取るため、そしてこのソフトウェアを、将来も引き続き使用できるようにするため、BASIC言語はその始まりからずっと、あらゆるIBMのパーソナルコンピュータの標準となっている。しかし、勢揃いした互換コンピュータが、どれひとつとってもBASICを内蔵していないのを見ればわかるように、内蔵されたBASICは、いまや時代遅れの不要物である(当然のことながらこれらのクローンマシンは、プログラムを作成したりプログラムを実行するために、BASICに限らず、それ以外のプログラミング言語をディスクからロードできる)。

ディスプレイシステム

操作をモニターするために、つまり、自分が入力した内容や、記憶装置からロードした内容を見たり、計算の進行過程を目で追ったり、その結果を読んでチェックするために、どんなコンピュータでも〝ディスプレイシステム〟が必要である。

最初のPC用のディスプレイシステムは、IBM

が、数多くのオフィス用コンピュータの端末装置を作る過程で得た経験を土台に設計された。これらIBMの粋を集めたディスプレイシステムの特長は、鮮明さ、読みやすい文字、ちらつかない画面を求めていた人々を魅了した。これに加えてIBMは、情報を表示し、その表示を保持する様々な方法を一元化して、データを電子的に構成する特殊な技術を採用した。IBMは、PCを設計するにあたって、メインフレームコンピュータに普及していた技術や、コンピュータでは典型的になっている技術から離れた。たとえば、コンピュータには〝テレタイプビデオディスプレイ〟と呼ばれる技術がある。その仕組みは、その名が示すとおり、〝テレタイプ〟と呼ばれる、自動的に動作するタイプライターのような装置によく似ており、コンピュータが文字列を端末装置に転送する際に、〝キャリジリターン〟によって1行ごとに分けて送るというものである。テレタイプのインターフェースを使用すると、コンピュータは、画面のどの場所に表示するかを考えずに、1行の文字列を送り出すため、ディスプレイ端末装置の回路が、コンピュータに代わって、送られたテキストを、画面のどこに表示するか判断することになる。前の行の下に次の行というように、各行は上から下へ順に表示されていき、画面がいっぱいになると、端末装置の回路が、一番古い行を上方に押し出して画面から消し、全体を上方へスクロールして、一番下に新しい行を表示するスペースをつくるのである。

Appleのコンピュータでは、これとは別のディスプレイシステムが採用されていた。それは、独立した端末装置を持つコンピュータシステムに対抗して、内蔵型のディスプレイシステムを持ったコンピュータシステムに適合し、そういうシステムでより融通性が発揮される技術だった。〝キャラクタマッピング〟と呼ばれるこの技法は、次のようなものである。まず、画面をキャラクタが置かれる位置を示すマトリックスに分割し、キャラクタの配置場所ひとつひとつにメモリを割り当てる。ディスプレイシステムは、このマップの中に記憶された、キャラクタの名前（コード）に対応するドットパターンを、別の場所にあるフォントライブラリ（ROMかRAMに搭載される）の中から見つけ出し、ホストのマイクロプロセッサに関係なく、そのドットパターンの情報を画面に送り出す。

この技法の長所は、マイクロプロセッサとメモリの立場から見ると、速くて効率がよいということである。マイクロプロセッサとメモリは、キャラクタのコードを扱うだけでよく、80（行）×25（列）の画面にテキストを表示する場合、動かしたり記憶したりするデータは、2Kバイトだけですむ。さらにこの技法では、表示動作を行うためには、完全な端末装置は要らず、ディスプレイ（基本的な構成要素としては、ブラウン管と制御回路）しか必要としないため、端末装置のコストを大幅に削減できる。

プログラマはこの技法によって、画面上のキャラクタの位置決めを、簡単にかつ確実に行えるようになった。プログラムは、ディスプレイメモリのマトリックスの適当な位置に、キャラクタのコードを書き込むだけでよくなった。これに対し、テレタイプシステムを使用した場合、プログラマには、画面上のキャラクタの絶対的な位置を保証する確実な方法がなかった。可能な限り最善の方法として、端末装置に各列の最初のキャラクタを配置する位置を教える、〝ポジショニングコード〟を使用していたのであるが、この場合、プログラマおよびプログラムは、端末装置に転送されたキャラクタの数を記憶しておくか（こうすれば、キャラクタが次の行にいつ移動するかが分かる）、1つのキャラクタごとにポジショニングコードを送らなければならない。どちらの方法を採っても、単純にマトリックス上の位置を選択するよりも、プログラマの作業量が多くなることには変わりはない。

IBM方式のキャラクタマッピングでは、ディスプレイのキャラクタが置かれるマトリックスに、ある特別のバイトが追加されている。このバイトは、キャラクタの属性（アトリビュート）に関する情報を格納するためのもので、これにより、たとえば暗いとか明るいといったキャラクタの照度や、アンダーラインを付けるとか、反転して表示するといったようなことが指示される。IBMもまた、合計4Kバイトのメモリエリアを使用して、画面上の文字ひとつひとつに、キャラクタとアトリビュートのバイトを割り当てる方法を選んだ。この手法

は一見よさそうに思えるが、キャラクタバイトとアトリビュートバイトのメモリ上の開始位置が、別の場所に分かれているため、アトリビュートを瞬時に書き込める点が効果的なだけである。どちらが優れているかを判断するのは難しいが、ちょっとしたプログラムで、PCの表示システムを直接制御したいのなら、使用されている実際の仕組みを理解することが大切である。

1.3 キーボード

ディスプレイシステムは、コンピュータが現在何を行っているかを知る手段としては、たいへん優れたものだが、PCとやり取りする、あるいは、PCに何をすべきか伝えるといった作業には、別の助けが必要である。この作業を行うのがキーボードだ。キーボードの場合も、ほかのデバイス同様に、様々な設計が可能である。Apple Computerは、Apple IIを作るにあたって、キーボードを物理的かつ電気的に、コンピュータと一体化させる手法を提示した。一方IBMは、業務用機器における自らの経験をもとに、使用者側がある程度自由な位置にキーボードを置けるように、本体にコードでつなぐ形をとった。この分離型キーボードは、コンピュータの回路に直接接続する代わりに、細いケーブルを通して信号を送るため、キーボードからの全信号を、決まった形式に変換しなければならない点で、電気的な設計は複雑になる。しかし、前述のとおり、自由に置く場所が選べることや、壊れてしまったときや新しいタイプのものが必要になったときでも、ユーザー自身が簡単に新品と交換したり、別のキーボードに取り替えたりできるという、分離型ならではの融通性があり、苦労して設計するだけの価値はあった。

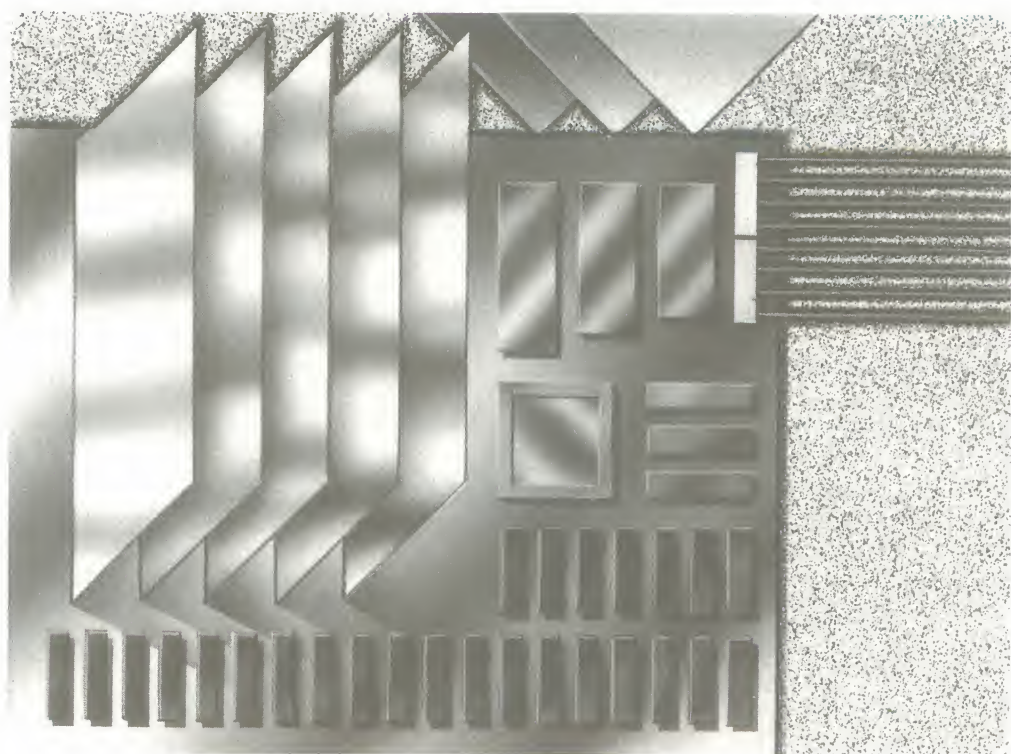
キーボードもディスプレイシステムも、初代PCにおけるIBMの基本概念のほんの一例である。IBMは、すでに市場にあったマシンの中から、最適なコンセプトだけを選び出し、そこに改良を加え、工夫に富んだ1台のコンピュータへと結晶させた。基本的に、IBM PCは、市場性にはほとんど焦点を合わせることなく、現実的な制約にだけ従って設計されたものだ。これはまるで、「もし買う人がいるなら、どんな人が買うのか見てみよう」と、IBM自身さえもが半信半疑の好奇心で、店頭にこのマシンを置いたようなものである。

しかし、IBM自身を含め誰もが驚いたことには、一般の人々も、中小企業も、大企業も、こぞってPCを買った。PCの売れ行きは、IBMの生産が間にあわないほどであった。

PCは一大改革を引き起こし、相次いで生まれる、より高性能なモデルの基礎となった。その論理的、かつ実用に即した設計は、この新しい業界の標準としての地位を確立した。たった1人ではんだづけして組み立てるガレージ工場から、数十億ドルを売り上げる巨大企業まで、数十社にもおよぶメーカーが、IBMのオリジナルマシンであるPCに、可能な限りの互換性を持たせながら、独自のマシンを生み出していった。

そして、これらのマシンは人々の働く方法を変え、さらに人々の考える方法さえも変えたのである。

第2章

マザーボード

ほとんどのパーソナルコンピュータの中心に置かれているマザーボードは、伝統的に、システム全体の物理的かつ論理的中枢である。マザーボード上に置かれた回路によって、それぞれのコンピュータの特徴、すなわち、性能、限界、独自性が決まるのだ。

ほとんどすべてのPCと、その互換機に共通するひとつの特徴は、これらのマシンは、基本パーツとして、1枚の大きなプリント基板(PCB)からできているということである。この1枚の大きなボードの上に、マイクロプロセッサ、周辺回路、メモリといった、システムの特徴を決定する上で欠かせない部品のほとんどが載っている。そして、これらの部品のほかにも、システムの性能を向上させたり、特別な用途に合わせてシステムを拡張する補助装置が、このボードに接続される。このボードがなかったら、コンピュータはこの世に存在しなかったのだ。しかし、それほど重要な意味を持つこの設計は、かならずしも必然的に生まれたものではなく、むしろその起源は、IBMが最初のパーソナルコンピュータを構想する段階で、この設計法を選んだという事実にある。機能を1枚のボードに集めるというアイディアを考え出したのは、IBMではない。IBMは、小型コンピュータ業界にすでに存在した設計法の傾向に従ったまでなのだ。

2.1　小型コンピュータの設計

PC の開発が行われていた当時、小型コンピュータ設計の基本的な方法については、2 つの相反する方式があった。ひとつは、コンピュータの重要な部品をすべて 1 枚の大きなボードに載せて PC 本体に組み込むという、**シングルボードコンピュータ**である。これに対し、より柔軟性があると考えられていたもうひとつの設計は、マイクロプロセッサ、メモリ、入出力回路といった機能別の各構成要素を、別々のボードに載せ、その各ボードを、回路バスによって連結されたコネクタに差し込むという方法である。このようなマシンは**バス型コンピュータ**と呼ばれている。これら 2 つの設計法はそれぞれ独自の長所を持っている。

バス型コンピュータ

PC が開発された当時、バス型の設計は保守的な手法であった。〝バス〟という呼び名は、乗り物のバスのように、複数の信号を乗客にたとえ、すべての信号（乗客）が一緒に運ばれ、経路に沿って同じコネクタ（停留所）に止まる、という仕組みから付けられたものである。当時、最も普及していた小型ビジネスコンピュータでは、S−100 という標準バスが使われていた。S−100 という名称は、100 個の接点を持っていることを表わしている。

また、大型コンピュータでも、ほとんどバス型の設計が採用されていた。これはつまり、このバス型設計の手法を用いれば、特別な目的や業務内容に応じて、1 台 1 台のコンピュータを、顧客の仕様に合わせることができ、必要ならば、より高性能のプロセッサに交換したり、複数個のプロセッサをマシンに追加できるという長所があるからである。このモジュール化された設計法によれば、ビジネスニーズの拡大に合わせてシステムを拡張していくことも可能である。また、どのボードも壊れたらすぐに取り外して交換でき、その場合、回路レベルの処置は必要ないという点で、保守サービスを簡略化できるわけだ。

ただし、このバス型の設計は、実際のところは、コンピュータを作るのに必要な部品が、1 枚の回路ボードに収まりきらなかったために、必要に迫られて考え出されたというのが事実である。溢れ出てしまった回路は、複数のボードに分割せざるをえず、バスはそれらを連結するのに最も簡単な方法だったのである。

シングルボードコンピュータ

IC（Integrated Circuit：集積回路）の登場によって、複数の電子回路部品のほとんどは、指の爪ほどの大きさしかない 1 個のパッケージに詰め込まれ、コンピュータを構成するボードの数は大幅に削減された。そして、1970 年代の終わりには、デジタルコンピュータ全体を 1 枚にした回路ボードが、初めて実用化された。このような形態のコンピュータは、多くの点でとても望ましいものだった。

第 1 の理由はコストである。ボードの数が少なくなるということは、それだけ組み立て費用や材料費が安くなるということを意味している。また、これによって単純にボードが小さくなるだけでなく、バスに各ボードを接続させるために必要だった回路も、削除できることになる。

シングルボードコンピュータは、信頼性の点でも有効である。コネクタは、どのコンピュータにおいても最も壊れやすい部品であり、シングルボードの設計法によって、システムトラブルの潜在的な原因であるバスコネクタが削減できるからである。

しかしその一方で、シングルボードコンピュータの設計は、バス型の手法と比べれば、融通性に欠けることは確かだ。シングルボードの設計法では、工場ではんだ付けされた時点でそのコンピュータの機能は確定され、あとから能力を向上させたり、最初の仕様にない機能を追加したりすることはできない。シングルボードの場合、テクノロジーの発達に合わせてコンピュータを改良していくことは望めないのである。この欠点のため、シングルボードの手法は、デスクトップコンピュータには歓迎されていないが、多くのラップトップコン

ピュータやノートブックコンピュータにとっては、有効な設計手法である。シングルボードの手法によって可能となる小型化は、省スペース性と軽量化を重視するラップトップの設計の要求に完全にかなっている。この場合、拡張性がないことは大きな障害ではない。実際、ラップトップの設計では、拡張の余地をほとんど残さずに（完全に拡張不可の場合もある）、小さなケースに、可能な限りの機能を押し込む方向で努力がなされている。

PCの妥協点

シングルボードかバス型の、どちらか一方の設計法に忠実に従うことよりも、IBMが選んだのはその中間の立場で、両者の最も良い部分を結合させることだった。そして、実際PCでは、1枚の大きなボードに、コンピュータに不可欠な回路を集めると同時に、拡張性と融通性を持たせるために、スロットが使えるように設計されたのである。

PCの歴史は、よりシングルボードコンピュータに近付こうとする方向に流れていた。IBMは、新しいモデルを発表するたびに、中央の回路ボードに組み入れる機能の数を増やしていった。実際に、最初のIBM PCで、完全なシングルボードコンピュータとして欠けていた要素はただひとつ、ディスプレイシステムだけだった。マスストレージはカセットポートの形で搭載されていた（これは、自動車の動力源として、ゴムバンドを搭載するのに等しい行為だが）。しかし最近では、ディスプレイシステムと最新のマスストレージを、メイン回路ボード上に移動させている製品もある。

この背景には、少なくとも3つの誘因が存在する。まず、パーソナルコンピュータに要求される基本的な必要条件が多くなり、従来は追加機能として提供されていた機能も、今や、すべてのコンピュータが当然装備すべきものと考えられている点である。次に、パーソナルコンピュータに要求される基本機能を、すべてメイン回路ボードに載せてしまえば、システムの全費用を下げられるという点が挙げられる（シングルボードコンピュータが、同等のバス型マシンより製造費用が安い理由はこれである）。さらに、小型化技術の発展に伴い、この設計が実用レベルで実現できるようになったということである。メイン回路ボードに、より多くの機能を詰め込むことが可能になったおかげで、最初のPCのメイン回路ボードには、機能を追加する余地は1平方インチもなかったのに、今日では、10倍も性能の高いコンピュータでさえ、PCの半分の大きさのボードに、広範な種類の標準機能を持たせることができるのである。

しかし、最近の趨勢はこれとは反対の方向に向かっている。現在、システムの設計者は、マイクロプロセッサのような必須の機能をメインボードから外して、コンピュータをアップグレードできるようにしている。この、より進んだモジュール設計法によって、製造メーカー（および販売店）は、より柔軟に対応できるようになる。たとえば、次の新モデルを発表するまでの時間が短縮でき（サポート回路の再設計が必要なくなるため）、在庫品を最小限に抑えることができる。製造メーカーと販売店は、何種類ものモデルを在庫品に持つ代わりに、1種類のケースだけ在庫しておき、要求に合わせて、適当なマイクロプロセッサをそのケースに組み込んで売ればよいのだ。こういったモジュラーシステムは、アップグレードの可能性も約束しているのだ。ただし、アップグレードは、理論上は魅力的なコンセプトであるが、実際的であることは少ない（つまり、アップグレードが、コストの点で効果的な戦略であることはまずないということだ）。

バス型設計の柔軟性は、スロットに差し込むボードを、ユーザーが広範な種類の中から選択できるように考慮した結果である。ユーザーが使用できるボードが、たった1種類しかないようなスロットでは、単にボードが抜き差しできるというだけで、結局1回の組み立てで、すべての回路を装備してしまうのと変わらないのだ。したがって、バス型のコンピュータが受け入れられるためには、バス設計について、標準仕様が採用されなければならない。**独自のバス**、つまり、1社しか専用のボードを作らないバス設計（多くの場合、その製造メーカーが、他社に自社のバスの技術的な仕様の開示を拒むことによって生じる）には、規格化されたバスの持つ完全な適応性はなく、実際、シングルボード設計に優る有効な点はほとんどない。

2.2 回路ボードの様々な名称

PCの構成の基礎になっている大きなボードについて、十分な知識を持った人々(あるいは自分でそう思っている人々)が何かを話すとき、そのボードが様々な名前で呼ばれているのを読者は耳にしているだろう。〝マザーボード〟、〝システムボード〟、〝プレイナーボード〟、〝バックプレーン〟。これらはあたかもすべて同じものであるかのように口にされている。しかし、これらの用語は、普通の会話の中では互いに取り替えて使うこともできるが、基本的な概念には微妙な違いがある。

マザーボードとドーターボード

1991年の湾岸戦争を、サダム・フセインは〝Mother of All Battles〟と宣言したが、このずっと以前から、あらゆるパーソナルコンピュータに組み込まれている一番大きな回路部品は、日常会話の中で、**マザーボード**(motherboard)という名称で呼ばれている。ある意味では、この回路部品は〝mother of all board〟であるといえるが、マザーボードには、フセインが〝mother〟という言葉によって示そうとした、〝今後発生するすべての戦闘のさきがけとなるもの〟といった大層な意味はなく、大きいボードの持つ機能と、それに接続される**ドーターボード**(daughterboard)と呼ばれる、小さなボードとの関係を表わしたものである。

これらの用語からすぐに頭に浮かんでくるイメージを、2つのボードに重ねると奇妙なものになってしまう。小さなボードと大きなボードが接続されている様子について、母親の乳に子供が吸い付いている、古い彫刻のようなものを想像してしまう人もいるかもしれないが、マザーボードとドーターボードという用語については、2つのボードの間に重要な関係があるという意味を含んでいるのだと考えるべきである。また、卓上ラジオにまで性別(女性)を付けるスペイン人のように、この用語に性別の意味が含まれていると考えてはいけない(性別と言語の性は完全に異なる概念であり、これに疑問を持つ人は、高校で、保健体育の肝心な授業を1時間欠席したに違いない)。ドーターボードという用語から、〝サンボード〟(sonboard)とか、もっと総称的な〝オフスプリングボード〟(offspringboard)などの代わりの名称にはない、蜜のように甘い響きを感じ取ってはけないのである。また、マザーボードとドーターボードには、大きさの関係もない。ちょうど、子供が成長して母親より背が高くなるのと同じように、マザーボードよりも、接続するドーターボードのほうが大きいこともある。実際のところ、マザーボードを定義している特徴は、その大きさや、ボードが回路部品を搭載しているという点ではなく、このボードが、システムの拡張用に接続機能を提供しているということである。マザーボードに不可欠な要素は、動作回路よりもコネクタのほうである。パーソナルコンピュータは、今も昔も、マザーボードに電気的に接続された拡張コネクタがあれば、それ以外の部品なしで構築することができるのだ。

システムボード

IBMは、初代IBM PCからその後続機種であるXTとATまで、パーソナルコンピュータを構成する主要な回路が載ったこのボードに対して、**システムボード**(system board)という独自の名称を用いた。このボード(もっと正確にいえばボード上の回路)によって、コンピュータシステムの全体の特徴が定められることを考えれば、この名称は適切であると思われる。さらに、この名称を採用した理由には、性別の意味合いを持たない名称を使おうというIBMの意図もあった。IBMは、性別に関する争いに巻き込まれて、一方の味方をするような立場になることは避けたかったということだ。

拡張ボード

システムボードという名称に合わせて、ドーターボードの代わりに用いられた中性名詞が**拡張ボード**(expansion board)である。このボードをシス

テムボードに差し込むことで、システム機能の拡張が行われるという意味では、この名称も適当と思われる。ただし、拡張ではなく、マシンを動作させる基本要素として、拡張ボードの接続を必要とするコンピュータも多く、さらには、拡張できないコンピュータでも、モニタを接続するために、マザーボード以外にもう1枚ボードが必要なこともある。厳密にはこういう例外があるとはいえ、〝拡張ボード〟という名称は一般に受け入れられ、これに合わせて、システムボード上にある、拡張ボードを差し込むコネクタは、**拡張スロット**(expansion slot)と呼ばれることになった。

プレイナーボード

IBMは、マザーボードに対して、さらにもうひとつの中性名詞の使用を促進した。「Personal System／2」(PS／2)系のマシンを発表していく中で、初めて一般的な用語になったこの名称が、**プレイナーボード**(planar board)である。IBMのエンジニアは、会話の中では、これを形容詞部分のみに簡単に省略して、〝プレイナー〟と呼ぶことも多い。〝マザーボード〟の代わりに作られたほとんどの中性名詞と同じで、このプレイナーボードも、もとの名前に比べると表わすものが漠然としている。名前があまりにも包括的になりすぎて、その示すものが漠然としてしまうのも考えものだ。カメラの内部に使われている、折り曲げ可能なプリント基板のように、特殊な目的で屈伸自在に作られている少数のものを除けば、プリント基板はおしなべて〝プレイナー〟、つまり平らなのである。これに比べれば〝システムボード〟のほうが、少なくとも回路部品としての機能が表わされているという点で、明確な名称だろう。

ロジックボード

曖昧で中性的な名称は、IBMに限ったことではない。Appleの「Machintosh」の世界では、コンピュータ内部の主要な回路ボードのことを**ロジックボード**(logic board)と呼んでいる。コンピュータ内部のすべての回路ボードのベースが、デジタルロジック回路であることはいうまでもなく、したがってこの名称も、特定の対象を表わす明確さには乏しいといえる。

バックプレーン

ほかに、パーソナルコンピュータのマザーボードを指す言葉としてときどき使用されるものに、**バックプレーン**(backplane)がある。これは、バス型コンピュータから持ち込まれた名前である。初期のバス型設計では、マシンの拡張コネクタは、すべて1枚の回路ボードで連結されるようになっており、拡張ボードは、コンピュータのフロントパネルの隙間から、後部にあるマザーボード上の拡張コネクタへ差し込まれる。必然的にボードは平らで(plane)、コンピュータの後部(back)にあり、この点では、〝バックプレーン〟という名称は、見事にボードの状態を表わしている。ただし、その後の設計では、バックプレーンはコンピュータケースの底部に置かれるようになった。

PCの設計に見られるように、ボード上に動作するロジック回路がある場合は、バックプレーンは**アクティブバックプレーン**と呼ばれる。したがって、**パッシブバックプレーン**といえば、ワイヤもしくはプリント回路で連結された、拡張コネクタのことを指す。パーソナルコンピュータのシステムボードのほとんどは、アクティブバックプレーンと呼ぶことができるが、エンジニアの多くは、バックプレーン自体よりもむしろ、バックプレーンにマイクロプロセッサが差し込まれているタイプのバス型コンピュータに対して、この名称を使っている。この定義でいえば、アクティブバックプレーンの動作回路には、ボード間の通信を可能にするバス制御回路も含まれるだろう。

2.3 マザーボードの構成要素

IBM 設計に従ったコンピュータのマザーボードは、いくつかの主要な機能を持っている。最も基本的なレベルでは、「コンピュータの物理的な基礎」という役割である。マザーボードは、適切な位置に拡張ボードを固定し、また、外部の回路要素との接続を行う一定の場所を提供し、コンピュータの中心となる電子回路部をサポートするベースとなっている。電気的には、マザーボード上にエッチングされた回路には、コンピュータの頭脳と、その頭脳を拡張するのに必要な最も重要な諸要素が含まれている。この回路によって、コンピュータの全体の基本的な性質、つまりどのように機能するか、キー入力に対してどのように反応するか、そして何をするか、ということが決まる。

システムボードの各要素は、それだけでコンピュータの基本性質を決定するということはない。コンピュータの本質は、回路の配線と部品とに関わっているのである。

マイクロプロセッサ

マイクロプロセッサは、コンピュータ内部で実際の思考を行っている。現在使用できる数多くのマイクロプロセッサの中から、どれを選択するかによって、コンピュータの処理能力だけでなく、使用可能なソフトウェア言語の種類(つまり、そのコンピュータで、どんなプログラムを使えるかということ)も決まる。

コプロセッサ

マイクロプロセッサの補助部品である**コプロセッサ**によって、コンピュータはある特定の操作の実行速度を高めることが可能になる。処理によっては、5~10 倍の高速化が可能である。

メモリ

メモリは、マイクロプロセッサが計算を実行する際に必須の要素である。システムのメモリ容量やその構成によって、どのようにプログラムできるか、またどの程度複雑なレベルのプログラムが実行できるかが決まる。

BIOS

コンピュータの**BIOS** (Basic Input/Output System) は、恒久的に記録されたプログラムルーチン群であり、システムの基本的な操作上の特色は、これによって決まる。また、この BIOS によって、ディスクからプログラムをロードせずにコンピュータが実行できる動作と、ディスクベースのプログラムの一部である、特定の指令に対するコンピュータの反応の方法が定められている。

拡張スロット

拡張スロットは、新たな信号をコンピュータに取り込み、それに対する応答を行う電子回路をもつ出入り口で、システムに新たな機能を追加したり、機能を強化することができる。また、ビデオアダプタのようなコンピュータに初めから不可欠な部品を、すばやく簡単に交換できる。

周辺回路

マイクロプロセッサは、コンピュータの基本要素であっても、コンピュータそのものではない(もしそうなら、「マイクロプロセッサ」を「コンピュータ」と呼んでもいいはずだ)。マイクロプロセッサには、生命を吹き込む特別な回路、すなわち、クロック、コントローラ、信号変換器が必要である。これら周辺回路は、プログラムに対して独自に応答しており、この周辺回路の助けで、コンピュータの動作が決定されている。

2.4　プリント基板技術

マザーボードの〝ボード〟とは、**プリント回路基板**(printed-circuit board)から取ったものである。プリント回路基板という名称は、短縮して**PCボード**と呼ばれることもあり、そのボードが、コンピュータ以外の製品のデバイスの場合でも、同じ言葉が使われるので、混乱するかもしれない。今日、プリント回路基板は、ほとんどすべての電子デバイスを構成している、標準部品になっている。かつては点と点を手作業で配線する方法が行われていた。文字どおりの〝電線〟が回路部品をつなぎ、電線の両端は、それぞれ適当な場所に、手作業ではんだ付けされていたのである(単純な回路でも数インチ四方の面積を要した真空管時代の技術だが、コストの面さえ気にしなければ、現在でも有用な技術である)。

パーソナルコンピュータが、5,000個の真空管に相当する回路を、数インチ四方のスペースに詰め込んでいる現在では、手作業による配線など、想像もつかない。旧式の配線方法でこれらを接続するとしたら、慎重な手作業と、極細の電線が必要になろう。電線をいちいち切断し、被覆を剝がし、はんだ付けするには、多大な時間が必要となり、1台のPCの製造は、一生がかりの仕事になってしまうだろう。

プリント回路によって、工程は完全に機械化され、全回路の組み立てが迅速に行われるようになった。電線自身は、プリント回路基板の構造上のベースとなる基材に張り付けられる銅箔のパターンに変わった。コンピュータでは通常この基材は、ファイバーグラスの布にエポキシ樹脂を浸透させて補強した、**ガラスエポキシ**と呼ばれる緑色の複合素材である。簡単な電子デバイス(安価なもの)では、ガラスエポキシの代わりに**フェノール樹脂**という単純な褐色の基材を使用するものもある。

最も単純な回路ボードの第一段階は、基材に接着された1枚の薄い銅箔である。この銅箔は、〝フォトレジスト〟と呼ばれる感光性の化合物(〝フォト〟という言葉はここからきている)で表面を覆われている。フォトレジストは感光すると、銅に強く反応する硝酸のような物質に耐性を持つように変化する(〝レジスト〟はここからきている)。最終的な回路パターンのネガ(反転画像)を、銅箔を覆うフォトレジストの上に置いて強い光源で感光し、そのボードをエッチング液に浸す。ここで、感光したフォトレジストに保護されていない銅箔は、エッチング(腐食)され、基板上から取り除かれる。この結果、基材上には、回路パターンの写真のオリジナルに相当する銅のパターンが残り、こうしてできた銅線は、完成された回路を構成する様々な電子部品の接続に使用される。

プリント回路基板に部品を接着する方法としては、2つの技術が広く利用されている。旧式の方法は**ピンインホール**と呼ばれる技術で、回路ボードの部品搭載部分に穴を開けて固定するというものである。各リード(部品から出ているワイヤ部)は、回路ボードのこの穴を通して裏側ではんだ付けされ、余ったリードはカットされる。

大量生産に使用されている方法は、あらかじめ部品のリードをカットしておき、〝ウェーブソルダリング〟という方法を使って、すべてのリードを同時にボードへはんだ付けするという技術である。ウェーブソルダリングは、表面が一様に波立っている、溶解したはんだの池の表面すれすれのところを、ボードを通過させるもので、この波によってボードとはんだがわずかに接触し、トレースにリードがはんだ付けされる。

人間の手作業でも自動部品装着機でも、ピンインホールの方法を利用できる。自動装置を使えば人件費が削減でき、長い時間作業を行っても製造スピードは変わらない。一方、手作業は、一般的にプロトタイプの製造や、小規模生産の場面で行われる。また、自動装置を導入する余裕も、この作業を下請けに出す余裕もない小規模の会社にとっては、手作業による組み立てが、唯一の手段であることも往々にしてある。

もうひとつの**表面実装技術**は、ピンインホール

技術に比べて、製品の大幅な小型化とコストの削減を約束するものである。部品を固定する穴の代わりに、表面実装用に作られている部品が、はんだクリームによって、回路ボード上の適切な位置に仮留めされる。全部品が回路ボードに接着されたあと、温度制御されたオーブンの中をボードを通すことによって、はんだクリームが溶け、各部品がボードにしっかりはんだ付けされる。

2.5 システムボードメーカー

マザーボードによって、個々のコンピュータの基本的な性質、すなわち、機能や性能が決まるため、種類の異なるコンピュータには、異なるマザーボードが組み込まれていると思う人がいてもしかたがない。しかし、これは正確には間違いである。多くの異なるコンピュータが、内部に同じ設計のマザーボードを搭載している場合があり、また逆に、同じモデルのコンピュータでも、製造された時期が違えば(そしてどのマザーボードをメーカーが最も大量に入手したかによって)、数種類の異なるマザーボードを搭載している場合もあるのだ。

OEM

コンピュータとマザーボードのこのような関係は、奇妙に思われるかもしれないが、これはコンピュータの製造期間に対して、販売される期間が長いからである。ブランドネームと製造元の関係は、接着剤で張り付けられたネームプレートほど緊密なものでないことも多い。ブランドネームは、卸し売り、もしくは小売りレベルで製品を販売する会社に属するものだ。販社は、自社で製造を行うことはもちろん、その会社向けに製造を行う別の会社を使う(製造契約を結んだり、下請けに出す)こともできるし、あるいは単純に、他社が製造した部品や完成品を買うこともできる。この3番目の方法を採用して、販売会社に商品を供給している会社(その会社自身が販社であることも多い)のことを、**OEM**(Original Equipment Manufacturers:**相手先ブランド製造業者**)という。この用語は濫用され、一般化される中で、ほとんど厳格な意味は薄れつつあり、現在では動詞として使われることもある。たとえば、供給側のメーカーが販社へ「OEMする」とか、販社がメーカーから「OEMされる」といった具合である。

OEMの関係は、その用語と同様に一定したものではなく、人を混乱させることもしばしばである。OEMを行うメーカーが、自社のブランド名で製品を販売する場合もあるし、OEMされる販社が、OEM供給された製品以外にも製品を造ることもあるだろう。ときには、供給する側が入れ代わることさえもあるのだ。たとえば、DECは、最初のパーソナルコンピュータを、Tandyからの OEM供給で調達していたが、その後、自社製品のいくつかを自分で製造し始めた。そしてこのとき、外観からは、製造元が変わったことは分からなかった。この方法は、販社、つまり、ブランドネームが、製品の売れ行きに大きな影響力を持っていることを如実に表わしている。ユーザーは、ブランドネームに付随する保証を当てにしているのだ(製造元に送り返して、交換しているだけの販社もあるが)。

インテグレータとVAR

メーカーと販社の関係が希薄なこともある。販社の中には、他社が製造した完成品に、ネームプレートを張り付けるだけの時間と労力しか費やさないところもある。その一方で、自らの手で半製品を、より高性能の製品に組み立てて、ソフトウェアを製品にインストールし、徹底的なテストを行っているところもある。後者の場合、別々の供給元から部品を集めて完成品を組み立てているところから、しばしば**システムインテグレータ**と呼ばれる。また彼らの中には、オリジナル製品を持ち、それに〝バーティカルソフトウェアパッケージ〟(特定産

業用に設計されたソフトウェア）を付属させて販売するといったように、コンピュータにさらなる機能や性能を付加して販売するところもある。このような会社は、VAR（value-added remaketers、value-added retailers：**付加価値再販業者**）と呼ばれることもある。

OEM製品と、自社完全生産の製品の違いは、OEMの場合は、異なるブランド名の付いた多くのコンピュータの内部に、同じシステムボードが使われている場合が多いという点だ。OEM製品の多くは、ケースやラベル以外に違う点は見つけられないだろう。このようなコンピュータは、基本的に内部を交換して使用することができるため、エコノミスト達は〝コモディティ〟（日用品）と呼んでいる。すべての日用品がそうであるように、このような、中身は同じですぐ入手できるコンピュータ群の中で、最も〝優れている〟といえる製品は、もっとも価格の安いものということになる。

2.6　マザーボードの外観

かならずしも、すべてのマザーボードが交換して使用できるというわけではないが、中には、同一の外形を持っていて、同じスペースにはめ込むことができるものがある。このため、マザーボードの規定サイズに従って製品を設計するコンピュータメーカーは、組み込むマザーボードを、複数の製品から選択することができる。マザーボードの外形寸法については、2つの標準がある。これらの標準はいずれも、IBMがパーソナルコンピュータのオリジナル設計で設定した寸法に従ったものである。

標準サイズ

最初のIBM PCのマザーボードの外寸は、約8.5×11インチで、ボードの左後方に5個の拡張スロットが1インチ間隔で並んでいた（図2-1参照）。この中では、拡張スロットの位置だけが標準として残った。

現在、ボードの標準サイズとして、ほとんどのマザーボードメーカーに受け入れられているのは、IBM XTのオリジナル設計である。XTのマザーボードのサイズは、8.5×12インチで、0.8インチ間隔で8個の拡張スロットが装備されていた（図2-2参照）。マザーボードは、このサイズのものが最も多く製造されている。

オリジナルのIBM PCを持っていて、最新のマザーボードにアップグレードしたい人にとっては、拡張スロットの間隔の違い以上に大きな障害がある。PCとXTのシステムボードの大きさは、ほとんど同じだが、はめ込み穴の位置が違うのである。両者の位置の違いは、わずか1インチだが、実際この差は大きく、PCのケースに入っていたオリジナルのマザーボードを、XTサイズのボードに交換することはかなり難しい。

さらにATでは、以前より多くの回路を入れるために、基板の面積が必要になったため、ボードのサイズが12×13.75インチに広げられた。回路用により多くのスペースが必要なマザーボード（ATの第1世代の製品が典型的）は、ATのサイズを採用している。XTのレイアウトと同様に、ATのマザーボードの設計でも、0.8インチ間隔で8個の拡張スロットが装備されている（図2-3）。

AT標準に代わるマザーボードは現われなかった。IBMの次のモデルであるPS/2シリーズは、新たな標準を定着させることに失敗したからだ。これは、自社の拡張バスに、マイクロチャネルアーキテクチャを進んで採用しようとする会社がほとんどなかったことと、さらに、PS/2系の製品では、ときには同一モデルの中でさえも、異なるサイズのマザーボードが使用されたという理由のためだ。

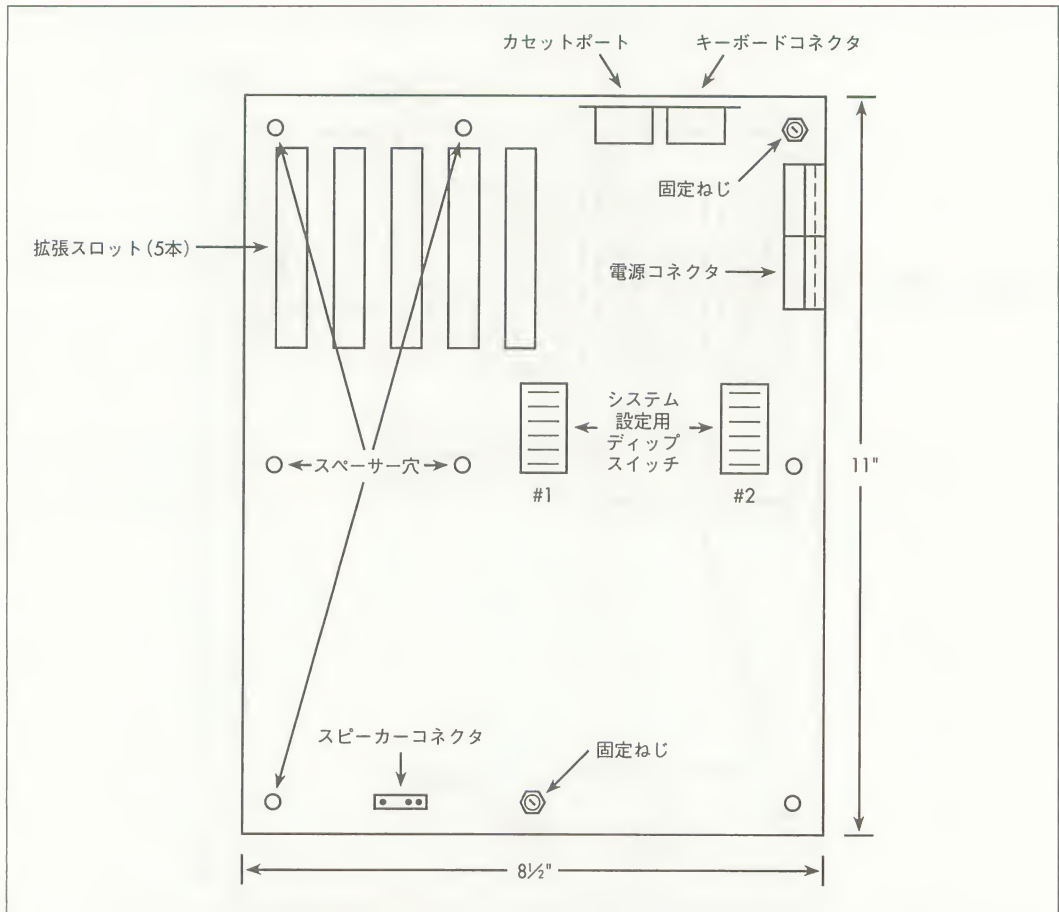



図 2-1　PC のシステムボードとねじ位置

主要な互換機メーカー(Compaq、Epson、Leading Edge、Tandy など)は、システムボードとケースの両方の製造を、自社(または関連会社)で行っているので、必要なサイズに自由に変更することができる。実際、Compaq 独自のポータブルマザーボードは、PC よりもいくぶん大きいという例もある。

省スペース PC(small-footprint PC)は、机上の占有スペースが小さくなるように設計されたマシンで、通常、IBM の標準サイズとは、かなり異なる大きさのマザーボードを使用している。マザーボードの大きさを縮小すると、マシン全体の大きさを数インチ縮めることができるからだ。省スペース PC が、標準サイズであることの融通性を犠牲にして、コンパクトであることの有効性を強調している点は、ラップトップマシンとまったく同様である。さらに、よりコンパクトにするために、拡張スロットとドライブベイの数を減らし、拡張性の点でもある程度の妥協をしている。省スペース設計は、拡張性を失うと同時に、メーカーと購入者を緊密に結び付けることにもなった。なぜなら、マザーボードが標準サイズでないため、故障したりアップグレードしたい場合は、購入者はそのシステムの製造元に頼らざるをえないからだ。これに対し、標準サイズのマザーボードであれば、PC を交換したりアップグレードする際に、あとで発売された様々なマザーボードを自由に選択できる。

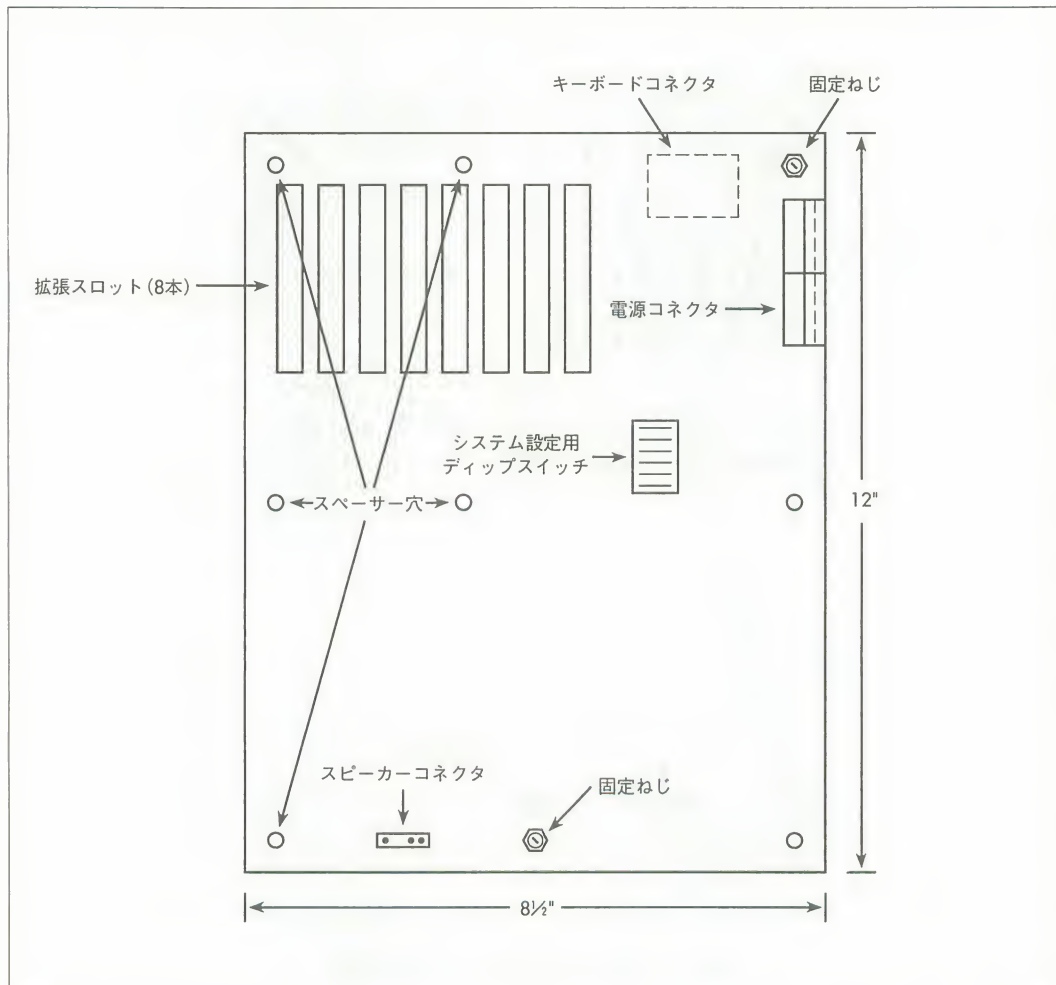



図 2-2　XT のシステムボードとねじ位置

ハードウェアの実装

いずれにしても、マザーボードはキャビネットに取り付けて使用しなければならないため、PC メーカーはマザーボードの取り付け方法をいくつか考え出した。マザーボードの取り付けは、簡単そうに見えて思った以上に複雑である。マザーボードを水平にねじ留めするのは、なかなか容易なことではない。ピンインホール部品の足が、様々な長さでボードから突き出ているため、底は平らではなく、無理にボードを固定しようとすると、ボードに不適当な力がかかり、場合によっては、内層の回路の配線を切断してしまうことになる。その上、ほとんどのケースは金属製なので、底のパネルに直にボードを置くと、ちょっとした拍子で、危険な回路ショートが発生することがよくある。このため、マザーボードは安全確実に固定するだけでなく、ケースの底からは適当に（通常は 1～2cm）離れるように設置する必要がある。

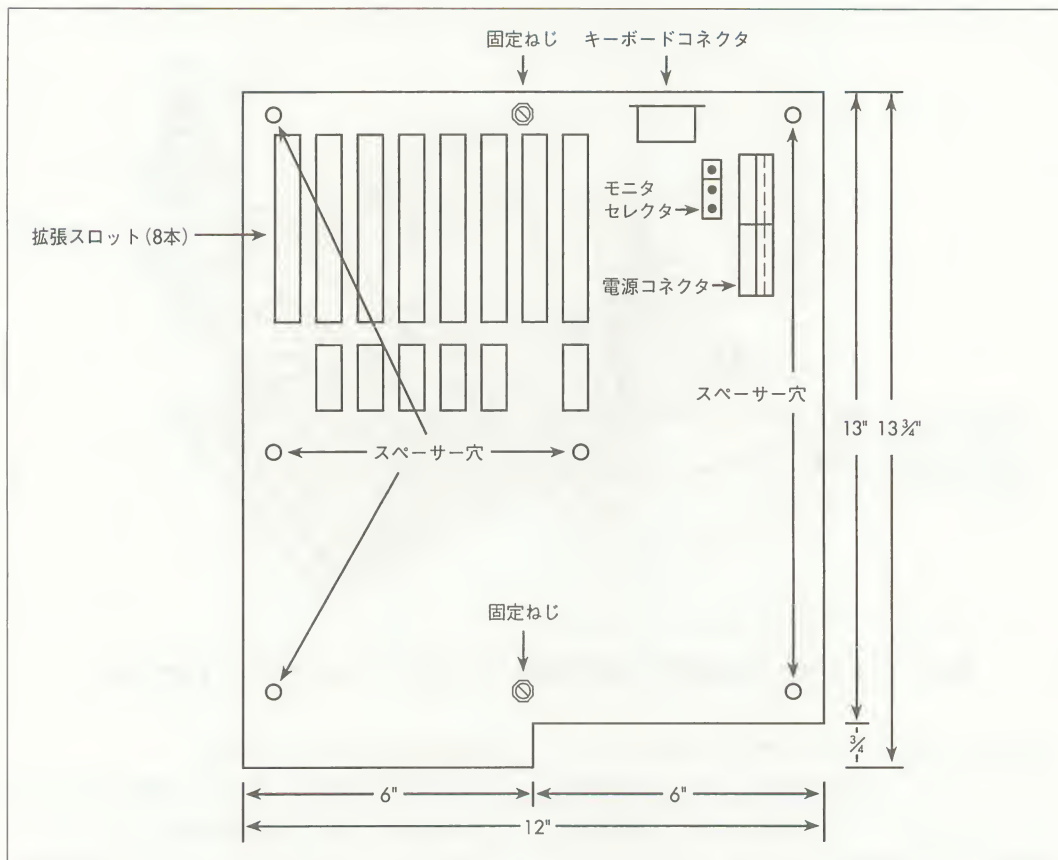



図 2-3　AT のシステムボードとねじ位置

IBM はこの実装上の問題を、最初の PC では巧妙に解決している。PC はもちろん、PS/2 が投入されるまでの、IBM の全製品ラインのマザーボードでは、ねじと特殊なスペーサーを組み合わせて使用して、迅速で簡単な製造（およびボード交換）が可能になっている（図 2-4 参照）。この設計は驚くほど簡単なもので、ねじはたった 2 個（3 個の場合もある）しか使用しない。マザーボードの穴には、ケースの底の金属枠から、ボードを絶縁しつつ固定する、ナイロン製の留め具をはめ込む。この留め具の先端は、矢の先のような形をしており、ボードの穴に差し込むと、ボードの裏側で出っ張りの部分が引っ掛かかり、うまく固定されるようになっている。留め具の下の部分は、PC ケースの底の専用の溝にはめ込む。機構的には、ボードを固定する 2 個ないし 3 個のねじとナイロンの留め具は、底から一定の間隔をあけてボードが水平になる高さで、かつ、ケースの金属枠の専用溝に合うような位置に設計されている。

IBM の設計では、ねじを外すと、ボードを左へスライドさせることができ、溝から留め具が外れるようになっている。マザーボードを装着する場合は、まず留め具が溝にはまるようにボードを押し下げ、続いてボードとケースのねじ穴の位置が合うまで、右にスライドさせるだけでよい。ねじの数が最小限に抑えられているため、コンピュータの組み立てに必要な作業は、この程度で終わりである。これは数百台、数千台といったマシンを製造しようとする際には、とても重要なことである。

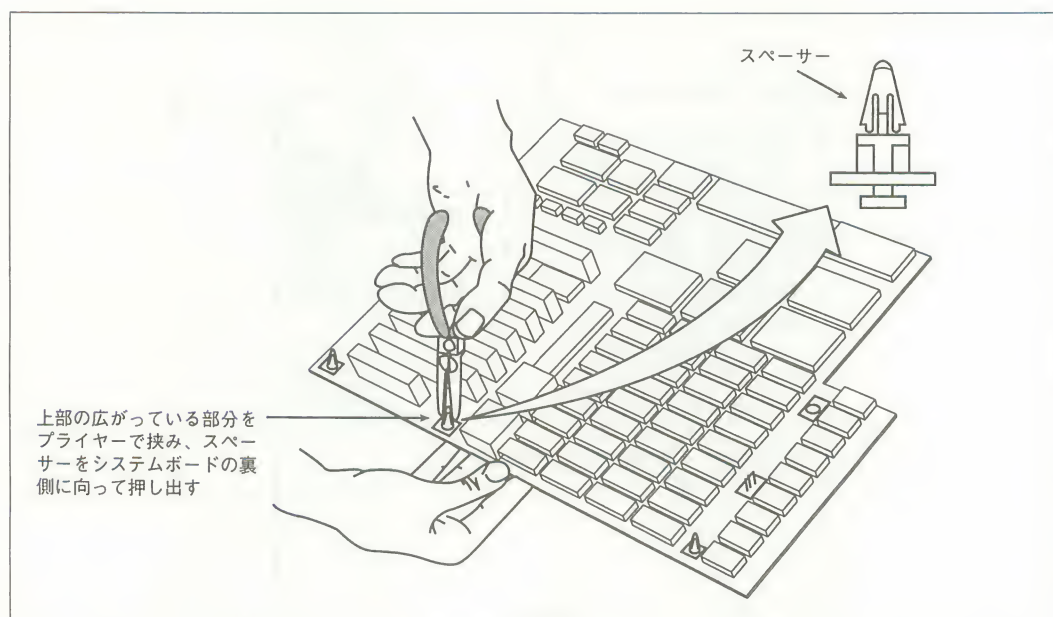



図2-4　システムボードの実装用にIBMが使用しているスペーサーの拡大図と、その外しかた

IBMは、PS／2シリーズでは、必要なスペーサーをコンピュータのプラスチックケースに作り付けにすることによって、マザーボードの組み込み作業をさらに簡素化した。それでもなお、ほとんどのマシンでは、マザーボード組み込み用のねじの数をさらに少なくとしよう努力している。

ほかのパーソナルコンピュータメーカーは、マザーボードの組み込み方法について独自の方法を考案した。これらの互換機メーカーは、ケースの底に数個の穴を開け、ねじ山のついた金属またはプラスチック製のスペーサー（普通はただのナイロン製の筒）を付属品に付けることで、留め具をはめ込む溝を溶接するコストを節約している。スペーサーはIBM方式のナイロンの留め具と同じく、ケースの底から一定の高さにシステムボードを固定するためのものである。

このタイプのマザーボードは、図2-5に示す2つの方法のどちらかで装着できる。スペーサーをケースにねじで留めてから、その上にマザーボードを載せてスペーサーにねじで留めるか、マザーボードをスペーサーにねじで固定してから、スペーサーをケースの底の穴に合わせてねじで留めるかのどちらかである。どちらにしても、一般に、安売りメーカーはケースの精度がよくないため、ユーザーが、10個もの穴とねじを合わせなければならない点は、あまり良い方法とはいえない。しかし、妥協して解決するよりほかはない。スペーサーを緩めにマザーボードに取り付けておけば、スペーサーは少し動く余裕があるので、ケースの穴との位置合わせがうまくいく。

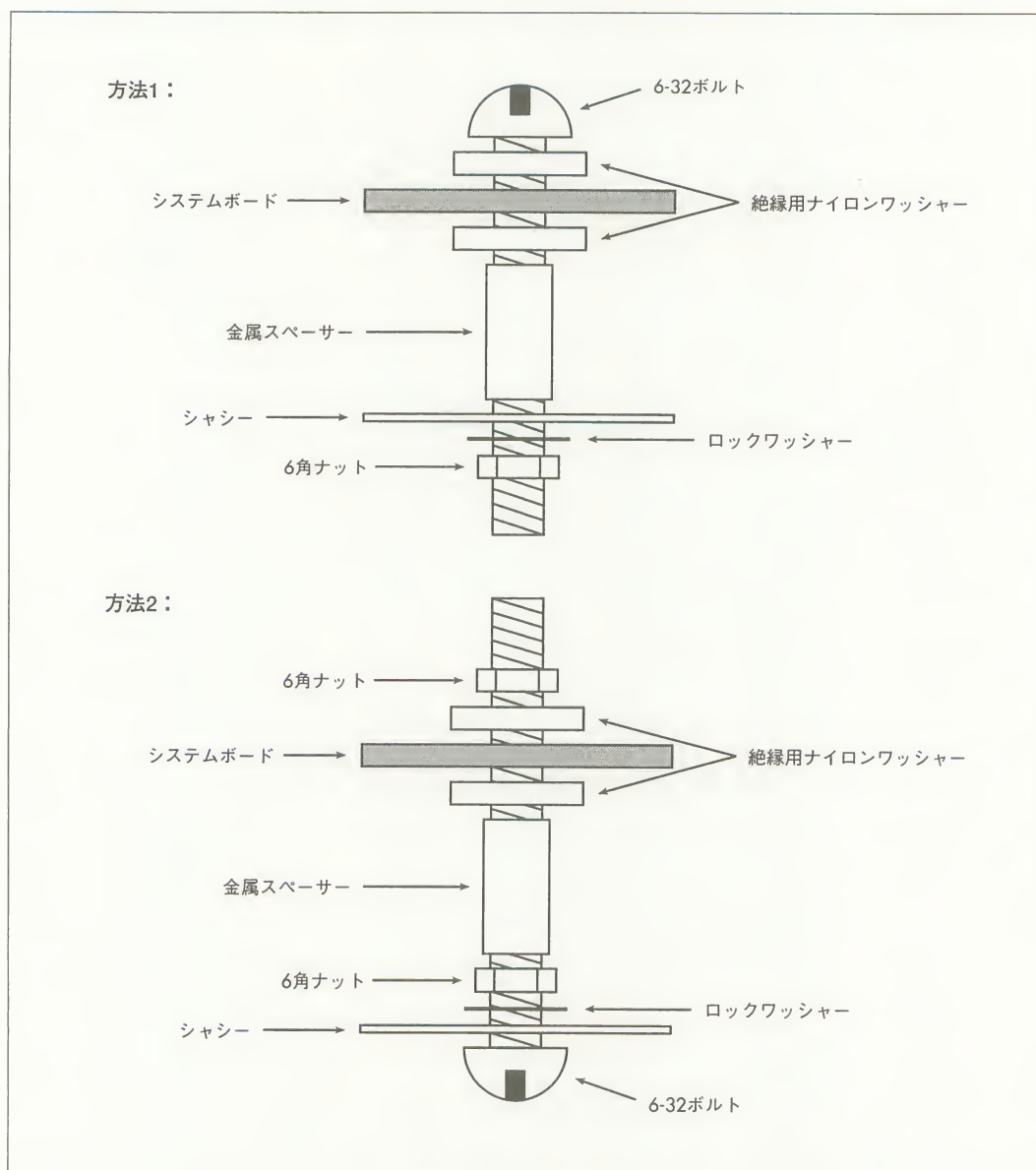
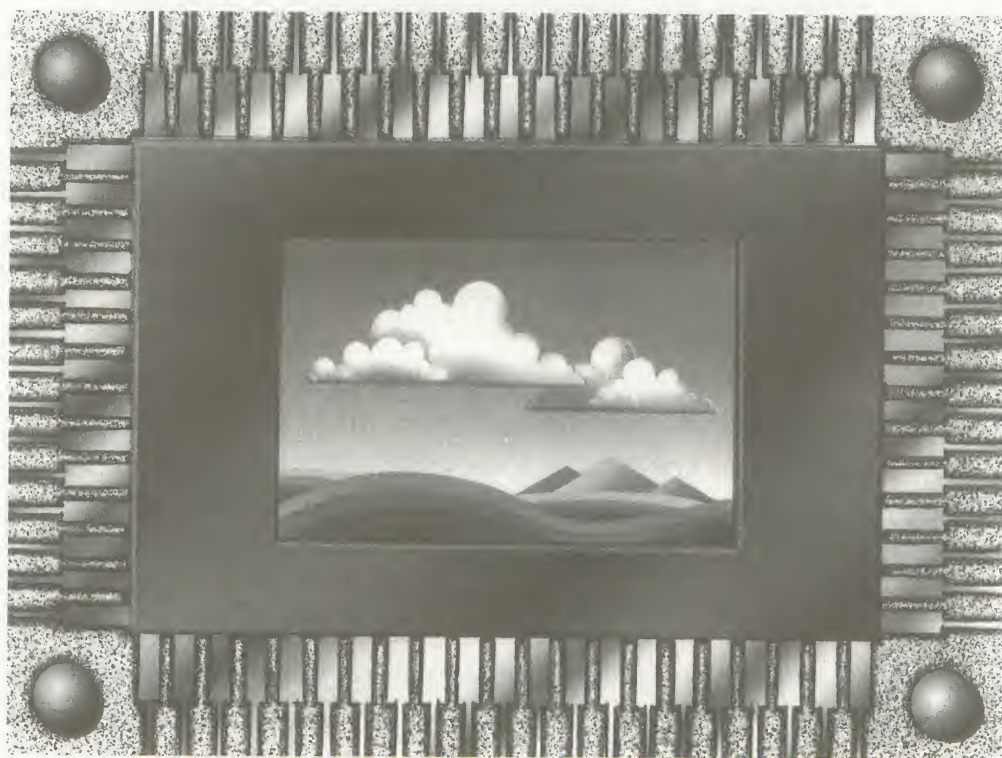



図 2-5　自作用システムボードのスペーサー

第3章

マイクロプロセッサ

マイクロプロセッサは、パーソナルコンピュータの心臓であり、脳である。この小さなシリコンチップが、コンピュータにおけるデータ処理のすべてとはいわないまでも、その大半を司っており、コンピュータ全体の動作速度および処理能力は、このチップによって決まる。

パーソナルコンピュータや、今日増加の一途をたどる高性能なマシンはすべて、**マイクロプロセッサ**と呼ばれる、ある特殊な電子回路をベースとしている。しばしば〝チップ上のコンピュータ〞とも呼ばれるが、今日のマイクロプロセッサは〝ハイテク〞という黒魔術の一大傑作である。マイクロプロセッサは、1枚のシリコンから作られる。このシリコンは、極度に純粋な結晶の大きな塊を、卓越した精密技術で薄くスライスしたもので、これを不純物の混ざった気体を含んだオーブンの中で高温にさらすと、気体がシリコンを〝デヒューズ〞し、その電気特性を変える（詳細は後述）。この砂を金に変える錬金術のようなプロセスを経て、節足動物の脳と同程度の能力を有する電子頭脳が創り出される。

昆虫や甲殻類と同様に、パーソナルコンピュータも反応し、学習し、記憶することができる。しかしながら、意識を持つ高度な生物とは異なり、マイクロプロセッサは推論したり自己認識はしない。コンピュータは〝考える機械〞と呼ばれることがよくあるが、マイクロプロセッサという脳で行われることは、人間の思考の過程や意識の流れとは大きくかけ離れたものである。あるいは、まったく違うといってもよいかもしれない。理論家の中には、人間の精神とコンピュータが、基本的には同じ仕組みで働いていると考える人もいる。しかし、彼らにしてもほかの誰にしても、人間の精神活動の実際の仕組みを正確に知っているわけではない。

一方、人間の脳とは違って、マイクロプロセッサの動作原理は十分に理解されている。マイクロプロセッサのハードウェアは、ある決まった機能を実行するように設計されており、その機能を実現するためにシリコン半導体の技術が使用された。マイクロプロセッサの動作には、魔法めいたからくりはない。

実際、マイクロプロセッサはシリコンでなければならないというわけではない。科学者たちは、さらなる高速化を実現する先進の半導体素材を模索している。また、エレクトロニクスを基礎にする必要すらない。ギア、カム、レバーあるいはパイプ、バルブ、パンといった一連の仕組みがあれば、今日の最先端のマイクロプロセッサと完全に同じ方法で、論理的な機能を実行することができる。事実、機械的な仕組みと水力で動作するコンピュータが作られたこともある。

エレクトロニクスとマイクロプロセッサの利点は、その速さと大きさにある。電気信号は光の速度で伝わるため、マイクロプロセッサは最高数百万分の1秒の速さで命令を実行できる。この速さがなければ、手の込んだプログラムが書かれることはなかっただろう。もし、蒸気動力で計算を行うエンジンを使ったら、設備が倉庫を埋め尽くすような膨大なものになってしまうだけでなく、1つの計算を行うのに一生かかってしまうかもしれない。 マイクロプロセッサの高速性と、持ち運び可能な極小サイズによって、今日の奇跡は成し遂げられたのである。

また、シリコンには広く一般に使用されているという利点がある。今日ではシリコンで1つの産業が形成されている。テクノロジーは成熟しており、シリコン回路の製造は機械的な

作業になっており、製品の出来具合は事前に予測できる。実際、年間数十億個ものシリコンチップが製造されているが、このようにシリコンが広く普及することは、チップのコストダウンにもつながる。製造プロセスは、精密で特異なものだが、必要な設備や材料は容易に入手できる。

3.1　マイクロプロセッサの仕組み

シリコンをベースにした現代のマイクロプロセッサの働きを理解することは、基本的な原理に立ち返れば難しくはない。マイクロプロセッサの基本的な仕組みは、膝蓋腱反射(脚気の検査でよく知られている、膝を叩くとひとりでに足が反応する例の仕組み)のようなものである。〝電子ハンマー〟でマイクロプロセッサに一撃を加える、つまり、ある決まったデジタル信号の入力があるたびに、マイクロプロセッサはそれに反応して、ある特定の動作を行う。同じ入力に対しては、つね同じ機能を実行して反応する。マイクロプロセッサの動作が複雑なのは、反応できる入力の種類がたいへん多いということと、連続した入力が、互いに関係をもって作用するからである。

マイクロプロセッサの機能は、入力される信号によって正確に決まっているが、その出力結果は、マイクロプロセッサが、その前にどんな動作を行うように指示されていたかによって変わる。たとえば、「左足を上げろ」という命令を実行した場合の結果は、その前に与えられていた命令が「座れ」であったか「右足を上げろ」であったかによってまったく異なるのだ。

インストラクションセット

しかし、マイクロプロセッサを構成している単純なシリコン回路は、人間の言葉で表わされた命令(コマンド)を理解するわけではなく、電気信号に対して反応する。今日のマイクロプロセッサでは、各コマンドはチップのパッケージのピンに与えられる電気信号の有無でコード化される。信号のひとつひとつは、1か0にコード化できるデジタル式の情報ビットを表わしており、これらが組み合わされてビットパターンとなる。マイクロプロセッサの設計者は、ビットパターンに特定の意味を与えて設計し、これがマイクロプロセッサの**インストラクション**(**命令**)となるわけだ。たとえば、〝0010110〟というビットパターンは、Intelの8086系のマイクロプロセッサでは、引き算を指示するインストラクションになっている。

マイクロプロセッサが理解し、反応できるコマンドの全レパートリーを、**インストラクションセット**または**コマンドセット**という。マイクロプロセッサの設計が異なれば、当然、認識するインストラクションセットも異なる。

インストラクションセットは、驚くほど豊富かつ多様である。たとえば、引き算を指示するコマンドは簡単だが、それだけでは用をなさない。つまり、何から何を引くのか、そしてその結果をどう処理するのかということも、マイクロプロセッサは知らなければならない。PCに搭載されているマイクロプロセッサでは、引き算インストラクションに約7種類(何を引き算とみなすかによって、この数は変わるが)のバリエーションがあり、それらの違いによって引く数を判断している。インストラクションの種類に応じて、マイクロプロセッサは異なる場所から値を取り出し、異なる方法でその差を導くように指示されるのである。マイクロプロセッサの**レジスタ**は、これらの仕事の一端を担うものだ。

レジスタ

マイクロプロセッサは、数値やデータを処理する前に、どのデータを処理するのかを知っている必要がある。必要な変数をチップに与えるには、インストラクションと同時に、処理するデータを、コード化された信号として与える方法が、最も簡単なように思われる。しかし、この方法には欠点がある。適切なデータを、マイクロプロセッサの入力に、正しく割り振る必要があるが、この割り振りを行うには、マイクロプロセッサとコンピュータの回路を使うか、あるいは人間が代わりにこの役を負って、様々な入力先に適切なデータを、いちいち手動でロードするかのどちらかの操作が必要になる。このような仕事は、マイクロプロセッサに任せるのがいちばんよいが(延々と続く計算の中間結果の置き場所を、いちいち指示すること

などやっていられないだろう）、この信号の割り振りの作業をすべて回路で行うとすると、マイクロプロセッサにつながる外部回路はかなり複雑になってしまう。

今日のマイクロプロセッサは、2つの入力を同時に直接処理するかわりに、1回に1個の入力だけを処理する仕組みになっている。入力されたビットパターンは、まず**レジスタ**と呼ばれる特別な領域にロードされる。レジスタは、一時的な記憶領域と作業領域の2つの機能を持っている。レジスタは、ビットパターンが処理または出力されるまでの間、それを保持する。また、レジスタは、マイクロプロセッサ内の処理回路に接続されていて、インストラクションによって指示された変更が、実際にレジスタの内容に反映されるようになっている。通常、マイクロプロセッサには複数のレジスタがあるのが一般的で、そのうちのいくつかは特定の機能（たとえば、現在チップがある機能のどのステップを実行中かを記憶することなど）の専用レジスタで、残りは汎用に使用される。

マイクロプロセッサのインストラクションの中には、あとで別の処理を行うために、レジスタに数値を記憶させたり、レジスタから外部（メモリや出力ポートなど）にデータを転送するように指示するものがある。また、別のインストラクションには、実行に数ステップを要するものもある。たとえば、前述の引き算インストラクションの場合、マイクロプロセッサに対し、計算専用の特殊なレジスタである**アキュムレータ**に記憶された数値から、インストラクションで直接指示された数値（あるいはメモリに記憶されている数値）を引くように命令するのである。

実際、マイクロプロセッサが行うことはすべて、これらの一度に1ステップずつ実行されるインストラクションの連続にすぎない。2つの数の簡単な加減計算は、その数を10進数からマイクロプロセッサが理解する表記法である2進数（1と0）に変換する処理を含めて、おそらく数十個のステップで構成されているはずだ。コンピュータのプログラムが複雑なのは、人間にとっては1ステップの動作に思えるような、数を加える、1文字タイプする、1ブロックのグラフィックスを移動させるといった作業を、長く複雑に連続する小さなステップに細分して実行しなければならないからである。

マイクロコード

インストラクションは、マイクロプロセッサに、何をすべきかという命令を与えるための基本単位である。しかし、これに対して、マイクロプロセッサの回路は、1個のインストラクションを実行するのにも、内部的には複数のステップを踏まなければならない場合が多い。つまり、インストラクションはマイクロプロセッサに、1つの動作を実行させる場合、それを構成している複数ステップのリストを実行するように指示しているわけだ。各インストラクションに対応しているこれらステップのリストをまとめて、マイクロプロセッサの**マイクロコード**と呼んでいる。

マイクロコードを使えば、マイクロプロセッサの設計者は、チップに対して豊富な種類のインストラクションを、簡単に与えることができる。こうして作られたのが、たとえばPCのマイクロプロセッサが理解する、7種類の引き算コマンドである。これらのコマンドは、ひとつひとつが微妙に異なっており、その差異のおかげで、マイクロプロセッサに指示を与えるのが容易になっている。各動作に先立って実行しなければならないステップが少なくて済むのだ。

マイクロコードの基にある概念は、元々、ケンブリッジ大学のMaurice Wilkesによって考えられたもので、初期のメインフレームコンピュータのインストラクションのレパートリーを増加させることが、そもそもの目的だった。マイクロコードのおかげで、単純だが高速なコンピュータで、複雑なインストラクションを使用できるようになったのである。マイクロコードは、マイクロプロセッサ内部の**ナノプロセッサ**（マイクロプロセッサの中のマイクロプロセッサ）上を走る、外部からは見えないインストラクションの二次セットといえる。

マイクロコードとナノプロセッサの組み合わせにより、複雑だったマイクロプロセッサの設計は簡単になった。つまり、マイクロプロセッサの高性能なデータ処理回路は、その回路が実行しなけ

ればならないインストラクションとは、無関係に設計することができる。また、マイクロプロセッサが複雑なインストラクションを処理する方法は、その主要回路のアーキテクチャの設計が終わったあとでも、適切に調整することができるのである。設計上のバグは、マイクロコードを変更することで比較的早く取り除ける。バグを取るために、チップ全体にわたって新しい設計を開発する作業は、チップに百万個のトランジスタが含まれる場合では、大変な仕事である。これに比べれば、マイクロコードの変更は簡単である。また、マイクロコードによって増加した豊富なインストラクションセットにより、マイクロプロセッサ(およびそのマイクロプロセッサを使用したコンピュータ)のソフトウェアの作成が簡単になり、各動作に必要なインストラクション数を削減することもできる。

しかし、マイクロコードには不都合な点がないわけではない。マイクロプロセッサ内部にナノプロセッサの層を作ることによって、オーバーヘッドが生じるのだ。ナノプロセッサは、マイクロプロセッサに送られたインストラクションを実行するために、自分専用のマイクロコードインストラクションを実行しなければならない。ステップが多くなるということは、ひとつひとつのインストラクションを実行するのに要する時間が長くなり、処理が遅くなることを意味する。とはいえ、マイクロプロセッサ(およびナノプロセッサ)のインストラクションの実行速度は、1秒あたり数百万個にもなり、このような高速性によって、オーバーヘッドを抱えた層構造の設計が可能になっただけでなく、実用的な性能を持たせることもできるのである。

CISCとRISC

マイクロプロセッサの設計に、マイクロコードが不可欠というわけではない。インストラクションを表わすビットパターンの入力によって、必要な機能が直接引き起こされるように、インストラクションの実行を、チップ内の論理回路(ハードワイヤードロジック)に行わせることができる。実際、この方法をとると、インストラクションの実行は、より高速になる。しかし、インストラクションを内部の論理回路で解析し、実行するこのようなタイプのマイクロプロセッサは、インストラクションのレパートリーが1つ増えるごとに、その複雑さが劇的に増してしまう。したがって、最も実用的な設計とは、小さなインストラクションセットで構成された設計ということになる。

IBMのYorktown Research LaboratoryのJohn Cockeは、コンピュータがどのようにインストラクションを使用しているか分析し、コンピュータが行う処理の大部分に含まれるインストラクションの数は、実際にはかなり限定されたものであるという結果を導き出した。たとえば、200種類のインストラクションを持つコンピュータを想定した場合、その処理の3分の2に使用されるインストラクションの種類は、200種類のうちわずか10種類程度なのである。Cockeは、より高速な処理を実現するため、限られた少数のインストラクションをベースにしたコンピュータの開発を進めた。そうして1974年には、RISC(Reduced Insutruction Set Computer)の考案者として、世に認められることとなった。このRISCという用語に対し、多量のインストラクションセットを使用するマイクロコードベースのシステムは、CISC(Complex Instruction Set Computers)設計と呼ばれている。1987年、Cockeは、RISCに関する研究の功績を認められ、チューリング賞(人工知能のチューリングテスト定義で知られるコンピュータのパイオニア、Alan M. Turingの名にちなんで設けられた賞)の栄誉に輝いた。この賞は、コンピュータ分野に対する技術的貢献の最高の名誉として、ACM(Association for Computing Machinery：計算機学会連合会)から与えられるものである。

Cockeの研究によって明らかにされたのは、演算処理の大部分は基本的なインストラクションで行われており、高性能で複雑な特殊なインストラクションではない、ということである。California大学Berkeley校とStanford大学で行われたさらなる研究によって、複数ステップの簡単なインストラクションが、1ステップの複雑なインストラクションよりも、速く複雑な処理を実行できるという実例さえあることも証明された。この研究の結果を要約したものが、80／20ルール(インスト

ラクションの約20%で、コンピュータの約80%の処理を行っている）と呼ばれるものである。

RISC設計の目的は、この20パーセントのインストラクションについてコンピュータの性能を最適化し、可能なかぎり実行速度を高めることである。残る80パーセントのコマンドは、必要であれば、高速な20パーセントのインストラクションの組み合わせで実行できる。20パーセントのインストラクションを高速化することで、残り80パーセントのインストラクションをエミュレートするオーバーヘッドを完全に補えることが、分析と実験によって証明され、RISC設計は、新しい時代の高速マイクロプロセッサの設計として、高い支持を得た。

しかし、RISC設計とCISC設計とを区別する明確な境界線はない。たとえば、RISCマイクロプロセッサとして知られるMIPS Computer Systemsの「M／2000」は、全115個のインストラクションレパートリーを持っているが、これに対し、CISCマイクロプロセッサであるIntelの「386」は、約144個（数えかたによって変わる）のインストラクションを持っている。この違いはたしかに重要ではあるが、両者の設計を区別する分岐点にはならない。

RISCとCISCを区別する重要な特性は、コンピュータまたはマイクロプロセッサが理解するインストラクションの数よりも、インストラクションの認識方法である。インストラクションセットの数を減らすことは、単にエンジニアがその処理を能率化する1つの方法にすぎない。インストラクションを取捨選択する過程で、コンピュータの性能を損なう余分なインストラクションは切り取られ、残ったインストラクションも、データの通過を妨害する可能性を最小限に抑えるために、研ぎあげられて滑らかにされる。

RISCの根本原理を顕著に表わしている最も重要な特性は、マイクロコードが削除されていること、最も使用頻度の高いインストラクションを高速化することに主眼を置いていること、そして、コンピュータとコンパイラ（コンピュータ言語）設計の最適化とが強く結び付いていることである。RISC設計には、キャッシュ処理やパイプライン処理のような、メモリを高速化する技術が使用されている。RISCでは、インストラクション自体の高速化に焦点をあてて突き詰めたものだ。各インストラクションは、1つのことだけ実行するように設計されており、また、いずれも均等に作られているため、すべてが同じ大きさで、同様の方法でオペランドを処理する。

クロックロジック

コンピュータ回路に接続されているマイクロプロセッサのピンに、インストラクションのコード信号が届いても、マイクロプロセッサはそのインストラクションをすぐには実行しない。そんなことをしても混乱するだけである。電気信号は、すぐにマイクロプロセッサの状態を変えることはできない。また、電気信号は通常、測定可能だがとても短い転送時間で通過する。加えて、すべての信号がかならずしも同じ速さで変化するわけではない。このため、マイクロプロセッサに2つのコマンドを連続して送ると、つねに2つが混ざりあっている期間が存在する。当然、この期間にマイクロプロセッサの端子で検出される信号は意味を持ったものではない。マイクロプロセッサは、これらの無効な信号に反応しないように、〝実行すべき有効なコマンドがある〟ということを示す信号が来るのを待って、初めてコマンドを実行するのである。

今日のパーソナルコンピュータでは、この指示はシステムクロックによって与えられる。マイクロプロセッサは、クロックパルスを受け取るたびに、与えられたインストラクションをチェックする。クロックパルスは、信号の転送が終了して新しいインストラクションが実行できる状態であることを示しているわけだ。

しかしながら、ほとんどのマイクロプロセッサは、1つのインストラクションを1クロックサイクルごとに実行することはできない。1つのインストラクションを構成するマイクロコードのすべてのステップを実行すると、100クロックサイクル以上かかる場合もある。さらに、インストラクションはひとつひとつが異なっており、要する時間は数サイクルから数十サイクルまで様々である。

インストラクションの実行に必要なサイクル数は、マイクロプロセッサの設計によって異なり、インストラクション実行の効率の善し悪しは、その設計にかかっている。頻繁に使われるインストラクションの、実行クロックサイクルを最小限に抑えることは、今日の趨勢である。RISC設計は、1インストラクションあたりに要するクロックサイクル数が最も少ないことがその特徴であり、通常は平均して1インストラクションあたり1.5サイクル以下である。CISC設計でもこの効率レベルを達成したものがある（486のようなCISC設計では、1インストラクションあたり約1.3サイクルで動作する）。

3.2　プログラミング言語

コンピュータの**プログラム**は、単なるインストラクションのリストである。コンピュータは、プログラムというインストラクションのリストを、ひとつずつ順番に実行してこれを完了するのだ。複雑な機能を実行するために、プログラムの中の各インストラクションは、1つ前のインストラクションを土台にして、その上に組み上げられている。基本的に、プログラムは、マイクロプロセッサのレシピ、あるいは「How To本」の手順書きのようなものといえる。

マイクロプロセッサ自身は、電気信号のパターンに反応するだけである。簡単にいってしまえば、コンピュータプログラムは、情報またはひとかたまりの概念であり、その最終的な形態は、マイクロプロセッサのピンに送られる、つねに変化する信号のパターンである。しかし、ほとんどの人間とって、電気信号のパターンを頭に描くことは困難だ。このため、従来からプログラムは、人間にとってより分かりやすい形式で表わされてきた。インストラクションを記述する際に使用される、人間に認知可能な形式を、**プログラミング言語**という。

プログラミング言語はコード化方式であるため、その記号とコンピュータのインストラクションは1対1で対応している必要はない。マイクロプロセッサのインストラクションが、複数のマイクロコードのステップを持つことが可能なように、1つのプログラミング言語の記号で、マイクロプロセッサの複数ステップのインストラクションを表わすことができる。

機械語

マイクロプロセッサのインストラクションをコード化するシステムの中で、最も基本的なものは、インストラクションのビットパターンを、人間が目で見て認識できる形式に文書化したものである。これは、インストラクションを、コンピュータという機械が理解する形でそのまま書き表わしたものであることから、**機械語**と呼ばれている。

機械語における電気信号のビットパターンは、前述の〝0010110〟という引き算インストラクションのように、〝1〟と〝0〟の連続で表わすことができるが、このパターンが「2進数」の表記と一致することに注目して欲しい。つまり、すべての2進数がそうであるように、この機械語のコードも、ほかの数値体系に変換することができる。通常、機械語のインストラクションは、**16進数**(base－16、hexadecimal)の形で表わされる。たとえば、〝0010110〟というう引き算インストラクションは〝16h〟になる。

アセンブリ言語

プログラムを機械語で書くことは不可能ではなく、場合によっては実際にそうされることもある。しかし、各インストラクションに割り当てられた数字に慣れるには、少なからず時間を必要とする。機械語のプログラミングについて、どのパターンが何を意味するか分かるようになるまでに、数週間から数ヶ月必要だろう。

機械語コードを別の形式で表わすには、機械語のような完全に数字だけの形式より、覚えやすい符合で表わしたほうが、人間にとってはありがたい。この場合、たとえば"16h"を"SUB"(substruction=引き算の略)という記号に変換するように、ある意味を表わす単語の一部をとって、機械語のコードひとつひとつに記号を割り当てる方法がある。**アセンブリ言語**は、この変換というステップを追加することで、覚えやすい記号の形でプログラムを書けるようにしたものである。

アセンブリ言語で書かれたプログラムは、最終的には、マイクロプロセッサが理解できる機械語のコードに変換されなければならない。この必要な変換作業を行うのが、**アセンブラ**と呼ばれる特殊なプログラムである。さらに、ほとんどのアセンブラは、変換作業に留まらず、様々な機能によりプログラマの負担を軽減している。たとえば、アセンブラによって数ステップのインストラクションをまとめて、**サブルーチン**と呼ばれる1つのブロックにすることなどがその一例だ。サブルーチンに名前を付けておけば、同じブロックのインストラクションを何度も繰り返す代わりに、あとでその名前で呼び出して実行することができる。

ほとんどのアセンブリ言語では、機械語のインストラクションに対応している**ニーモニック**(記号)を使って、マイクロプロセッサを直接操作することになる。したがって、プログラマはマイクロプロセッサと同様に、1ステップずつものを考えなければならない。マイクロプロセッサが行う動作はすべて、その最も低レベルの言語で指示されるのだ。アセンブリ言語を使ってプログラムを書くということは、最も基本的なレベルでプログラムを書いているということであり、この意味で、アセンブリ言語は**低水準言語**という呼び方もされる。

高水準言語(高級言語)

アセンブラは、アセンブリ言語のニーモニックとサブルーチンを機械語に変換する。これと同じように、コンピュータプログラムは、さらにもう1段階の変換処理を間に挟むことによって、もっと人間の言葉に近いインストラクションを、機械語のインストラクションに変換することができる。このような意味では、基本的に、各言語における個々のインストラクションは、それぞれが(機械語の)サブルーチンであるといえる。

このように、言語インストラクションと機械語コードが1対1で対応している関係を破ることによって、もっと抽象的な概念のレベルでのプログラミングが可能になる。これに使用されるプログラミング言語を、**高水準言語(高級言語)**という。高水準言語を使えば、プログラマは、情報の動きを1バイトごとに処理する代わりに、10進数や文字列、あるいは図形要素の単位で問題を扱うこともできる。言語プログラムは、これらの高水準言語で書かれたインストラクションのひとつひとつを取り出し、それを機械語の形式である、2進数のマイクロプロセッサコマンドの羅列に変換する。

高水準言語は、インタープリタとコンパイラの2種類に分類することができる。

インタープリタ言語は、その機能にふさわしい**インタープリタ**と呼ばれるプログラムによって、実行されるたびに、人間寄りの言語から機械語に翻訳される。インタープリタ言語は、プログラムの結果をすぐに得たい場合に好まれる。厄介な変換作業が必要なく、プログラムにエラーが発生した場合でも、それを取り除いてすぐに再テストできるからだ。しかしその一方で、コンピュータ側では、プログラムが走るたびに変換作業を行わなければならず、同じ動作を何度も繰り返し実行しなければならないという問題がある。この反復作業は、コンピュータの時間を浪費するのはもちろんのこと、それよりも問題なのは、コンピュータが2つの作業、つまりプログラムを実行することとプログラムを変換することを同時に行っているため、動作速度が遅くなってしまうということである。

BASIC(Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code)は、おそらく最もよく知られた(ただし、最もよく使用されているというわけではない)インタープリタ言語だろう。BASICの新しいバージョンには、コンパイラ(「コンパイラ言語」の項を参照)も含まれている。

一般に、インタープリタ言語を使用する過程では、2つのステップを踏むことになる。まず、言

語インタープリタプログラムをスタートさせると、独自のコマンド体系とプロンプトを完備した新しい環境が与えられるので、しかるのちにプログラムを実行させる。この2つのステップは、連結させて1個のステップに見せることもできる（たとえば、DOSのコマンドライン上で走るように、プログラムの名前を使ってBASICをスタートさせる場合など）。しかし、パーソナルコンピュータはプログラムを扱う前に、言語インタープリタを走らせなければならないことに変わりはない。

これに対し、**コンパイラ言語**は、インタープリタ言語に伴う無駄な手順を省くことができる。コンパイラ言語で書かれたプログラムは、高水準の記号から機械語に変換される。変換されてできた機械語は保管され、プログラムを動かす度に、この保管されている機械語が実行される。プログラムを高水準言語から機械語に変換する処理を、プログラムを**コンパイルする**といい、これに使用されるのが**コンパイラ**と呼ばれる言語プログラムである。コンパイルされる前の、英語のような形式のオリジナルのプログラム（プログラマが書いた単語と記号）は、**ソースコード**と呼ばれる。

複雑な言語プログラムのコンパイルは、とても時間のかかる処理で、数分から場合によっては数時間かかることもある。しかし、コンピュータ側にしてみれば、同時にインタープリタプログラムを走らせなくても、変換されてできた機械語のインストラクションを走らせるだけでよいため、いったんプログラムをコンパイルしてしまえば、高速に実行できる。ほとんどの場合、コンパイルされたプログラムは直接DOSプロンプトから走るので、プログラム名をタイプするだけでプログラムをロード、実行することができる。コンパイラ言語には、C言語、COBOL、FORTRAN、Pascalなどがある。

コンパイラ言語は高速で効率がよいことから、インタープリタ言語で書かれたソースコードをオブジェクトコードに変換し、コンパイルされたプログラムと同じように実行できるようにするコンパイラも作られている。たとえば、BASICのコンパイラなら、BASICインタープリタを実行しなくても、DOSプロンプトから直接実行できるオブジェクトコードに変換できるのである。

このように、プログラミング言語には様々なレベルのものがあるが、いかに高水準の言語でも、また、画面にどのような画像が表示されようとも、さらには、キーボードから何を打ち込もうとも、マイクロプロセッサ内部で行われることは、すべて2進数のパルスのパターンに変換され、これに対してマイクロプロセッサが、膝蓋腱のように自動的に反応するということには変わりない。

3.3　マイクロプロセッサの構造

膝蓋腱のように反応する電気デバイスを手に入れたことは、テクノロジーにおける最も偉大な躍進のひとつとして評価できるだろう。この技術が利用されるに至ったそもそもの目的は、人間がじかに手で触れられる範囲を越えて、ことわざにある「10フィートのさお」の向こうまで、力の及ぶ範囲を広げることであった。

簡単な電信技術はその好例であろう。スイッチを閉じる、つまり電信機のキーを押し下げることによって、ワイヤに電流が流れ、そのワイヤの一方の端に付いている電磁石が起動してガタガタと動き、離れた場所にいる電信技師にメッセージを伝える。この偉大な発明は、耳が聞こえない電信技師への神の賜物であるだけでなく、現代のコンピュータテクノロジーの基礎でもある。このテクノロジーが、ある電気回路を、そこから離れた場所にある、別の回路の制御下に置くことを可能にしているのである。

ロジックゲート

コンピュータは、上記のような簡単な仕組みをもとに構築されている。コンピュータが行うすべての作業は、〝意志決定〟と〝記憶〟という2つの動作、いいかえれば、〝反応〟と〝記録〟という作業のどちらかが含まれている。1つの信号で別の信号を制御できれば、この両方の動作がごく簡単な電気回路で可能になる。

電信機では、ライトが接続されていた電信機のアームは、スイッチ下げると同時にライトを点灯させていた。この場合、ライトの点灯とアームの接続については、電気の仕組みによって、次のような接続の方法が可能である。たとえば、2つの電信機のアームを組み合わせて、これらが同時に動作しなければ電源スイッチが入らない、つまりライトが点灯しないようにする。あるいは、どちらか一方の信号だけでライトが点灯するように、2つの電信機を連結する。さらには、電信機が起動されたときにライトが消えるように、スイッチを逆に取り付けることもできる。

この3つの設計例は、「AND」、「OR」、「NOT」の3種類のロジックゲートを構築する基礎になる。すべてのデジタルコンピュータは、これら3種のロジックゲートの組み合わせで構成できる。これらのゲートによって、ただの電気的な集合体であるコンピュータに、意志決定の機能が加えられるのである。前述の例における決定事項は簡単で、いつ、つまりどの条件でライトを点灯させるかということだけだが、いずれも単純なこれら3つのゲートを様々に組み合わせることによって、複雑な論理判断が可能なコンピュータを構築できるのである（このとき**ブール論理**を使用する）。

これらのゲートを組み合わせて、**メモリ**（記憶装置）を作ることもできる。スイッチで制御される電圧をフィードバックさせ、再びスイッチにエネルギーを与えて動作を続けられるようにすれば、ゲートの状態を保持できる。つまり、いったんスイッチに電圧が供給されると、スイッチはオンに切り替わり、自分自身に電圧を供給する。したがって、入力電圧の供給を中止しても、スイッチはオンのままで、自分からの出力によって、自分自身に電圧を供給し続けるわけだ。要するに、電源をオンにされたことを記憶するのである。この単純なメモリ回路の記憶を消して最初の状態に戻すには、フィードバック回路の中に、保持している電圧を中断するように接続したスイッチを入れればよい。この2つの状態を持つメモリシステムは、2つの状態の間で反転（フリップ）することから、**フリップフロップ**と呼ばれている。

この設計の基本は、一方の電気の流れ（または電圧）を、他方の電気の流れの制御に使用することである。技術の進歩によって、この動作を実行するメカニズムは着実に改良されており、それに伴い、先のスイッチ式電信機の例の基本になっている原理も改良され、「リレー」と呼ばれる1つのメカニズムを完成した。このメカニズムは今日でも電気回路に使用されている。

真空管は、遠隔操作スイッチの機械部分を削除することで、リレーの設計を改良したものである。真空管は、異なる電荷どうしの引力と、同じ電荷どうしの反発力を利用し、微量な電荷を使って、チューブ内の真空部分を通る電子の流れを制御できるようにしたものである。この真空管がリレーに優る点はその速度で、リレーが1秒間に数千回程度の速度で動作するのに対し、真空管は1秒間に数百万回のスイッチングが可能である。最初にコンピュータと認められた機械は、真空管をベースにしたロジックゲートで構成されており、その数は数千個であった。

アナログ回路とデジタル回路

真空管は、まったく新しいテクノロジーの到来を告げるものであった。小さい電流（電圧）を使って大きい電流（電圧）を制御するプロセスは、**増幅**と呼ばれる。大きな電流（電圧）は増幅され、より強くなっているが、制御電流（電圧）の変化に正確に比例している。大きな信号の変化は、小さな信号の変化と完全に相似（analogous）関係にあることから、このような方法で増幅を行うデバイスを**アナログデバイス**と呼ぶ。信号制御の強度によって、連続した可変性の情報を表わすことができる。たとえば、ステレオ装置の音響レベルがそうで、ステレオ装置の電気信号は、それが表わす音と相似関係にある。

制御信号によって、大きい信号が最低値(0)から最高値へ変化するときに、増幅の**しきい値**を超える。すなわち、小さい信号の制御で、大きい信号のオンオフを切り換えられるのである(スイッチング)。出力信号の2つの状態(オンとオフ)は、情報を表わすバイナリコードとして使用できる。スイッチを使えば、たとえば、数字の7を、連続した7つのパルスで表わすことができる。情報は、このような数——デジット(0から9の数字)——のグループとしてコード化できるので、このスイッチングテクノロジーを利用したデバイスを**デジタルデバイス**という。このスイッチングは、電信機のキーの動作やリレーのスイッチングに相当することに注目してほしい。スイッチングによってロジックゲートが構築され、そのロジックゲートでコンピュータが構築されるのである。

半導体

コンピュータにおいて、真空管をベースにした電子回路に関わる問題は数多くある。とくに、発熱と大きさの問題は重要である。真空管を動作させるためには、真空管を電球のように発光させなければならず、必然的に熱が発生する。この場合の熱は、データを〝処理する〟というよりも、〝溶かす〟といったほうが適切なほどの温度で、真空管を燃やし尽くしてしまう。このため、真空管をベースにした大型コンピュータは、毎日電源を落としてメンテナンスを行う必要があり、その作業のために数名の技術者を雇わなければならなかった。加えて、真空管を使った回路は巨大で、1950年代のSF小説に登場するような家のように巨大なコンピュータでも、性能の点では、今日のデスクトップマシンにははるかに及ばない。真空管ベースのコンピュータ設計では、一般に1個のロジックゲートに1個の真空管が必要で、パーソナルコンピュータが数十万のゲートから成ることを考えると、真空管ベースのコンピュータに大きさの問題があることは、容易に想像がつく。さらに、コンピュータが大きくなるに従い、その思考が回路を通って伝わる時間も長くなり、思考作業が遅くなっていくのである。

今日、実際にパーソナルコンピュータを作るには、1947年にベル研究所で明らかになった、エレクトロニクスにおけるもう1つのめざましい発見——**トランジスタ**——が必要である。3層に形成されたゲルマニウム(のちにシリコンが使われるようになる)の小片であるトランジスタは、1つの層に流された電流で、ほかの2層の間を流れるより大きな電流を変化させられるという特性を持っている。真空管とは異なり、電流はゲルマニウムまたはシリコンという固形物質を通って完全に流れるため、トランジスタには加熱された電子(熱電子)はまったく必要ない。このように、真空管のいらないテクノロジーは、一般に**ソリッドステート**と呼ばれる。

ゲルマニウムとシリコンは特殊な物質(実際には金属の一種)で、**半導体**と呼ばれている。半導体という名称は、この物質が電流の流れに抵抗する様子を表わしている。その抵抗の度合いは、**伝導体**(銅線など)よりは強いが、**絶縁体**(電線の被覆に使われるプラスチックなど)ほどではない。

半導体は、それ自身は取るに足らないもので、どっちつかずの性質は、まるでぬるま湯のようである。しかし、半導体に不純物を加えると、顕微鏡でしか見えない半導体の格子構造の結晶に不純物の原子が割り込み、劇的にその電気的特性を変化させる。この不純物を加えるプロセスを**ドーピング**という。不純物にも2種類あり、1つは、特殊な電子、つまり負電荷を搬送する性質を持った電子を半導体の結晶に加えるもので、もう1つは、通常は電子が存在する結晶格子に、正電荷の搬送体の役目を果たす穴(ホール)を残すものである。半導体は、加えられた不純物のタイプによって、特殊な電子を加える場合(負電荷搬送体)は**Nタイプ**、ホールを開ける場合(正電荷搬送体)は**Pタイプ**と呼ばれることが多い。たとえば、通常の3層構造のトランジスタは、どのタイプの半導体が中間層になっているかによって、「NPN構造」と「PNP構造」の2つに分けられる。

現代のコンピュータ回路では、ほとんどの部分が、これらとはまた別の種類のトランジスタをベースにしている。このタイプのトランジスタでは、半導体物質の狭い溝を通る電流の流れを、金属酸化物でできたゲート(溝を取り囲んでいる)に加え

られた電圧によって制御する。このような構造のトランジスタは、N タイプの半導体で作られているのが最も一般的であることから、〝N-channel Metal Oxide Semiconductor〟(N 型金属酸化膜半導体) の頭文字をとって、**NMOS** と呼んでいる。また、互いに補体物質(反対物質) である N チャネルデバイスと P チャネルデバイスを結合させると、**CMOS** (Complementary Metal Oxide Semiconductor：補体金属酸化膜半導体) と呼ばれる半導体ができる。

かつて、典型的なマイクロプロセッサは、NMOS のテクノロジーで作られていた。NMOS 設計は、設計が簡易であることと、チップが小型である (マイクロチップレベルに搭載可能) という特長を持っているが、その一方で、ゲートが ON の状態では、絶え間なく電力を消費するという大きな欠点がある。このため、マイクロプロセッサの数万から数十万に及ぶゲートの約半分に一定時間スイッチを入れると、NMOS チップは多量の電流を引き込み、この電流の流れによって熱が発生してしまう。これに加えて、絶えず電源を消費する性質から、NMOS は、冷却が難しい小型コンピュータや、バッテリ駆動のラップトップやノートブックコンピュータには適さない。

一方、初期の一部および現在のほとんどのマイクロプロセッサは、CMOS 設計を採用している。CMOS 設計は、ひとつひとつのゲートに少なくとも 2 個のトランジスタが必要なため、本質的には NMOS より複雑であるが、同時にこの仕組みには利点がある。1 つのゲートの片方のトランジスタに電源が投入されたとき、その補体であるパートナーのトランジスタは電源が切られるため、回路を通る電流の量を最小限に抑えられることになる。CMOS ゲートがアイドル状態を維持しているとき、電力はほとんど必要ない。しかし、状態が変化する瞬間には、きわめて短い時間だが大きな電流が流れる。したがって、CMOS ゲートの状態の変更が速くなるに従い、流れる電流も多くなり、発熱量も多くなる。すなわち、CMOS 回路では、作動速度が速くなると、そのぶん熱くなるわけである。このような、速度によって誘発される温度上昇は、多くのマイクロプロセッサにおける制約の 1 つである。

CMOS テクノロジーは、NMOS で作ることができる論理機能のすべてを、電気をかなり節約した形で複製することができる。その一方で、回路の複雑さを増すため、NMOS よりも製造コストはいくぶん高くなる。

集積回路

トランジスタは真空管より小さく、また、動作させるのに加熱をする必要がないので発熱も少なく、真空管に伴う大きさや発熱などの問題は解決できる。しかし、どのロジックゲートを構築する場合でも、1 個以上のトランジスタ (および数個の電子部品) が必要である。論理ゲート 1 つにつき 1 平方インチのスペースで足りると仮定しても、パーソナルコンピュータのすべてのロジックゲートを構成するには、16 平方フィート (約 1.5 平方メートル) の回路ボードが必要になり、トランジスタといえども大きさの問題は依然として存在する。

1950 年代がまさに終わろうとしていたころ、トランジスタのこの限界に対して、Fairchild Instruments の Robert N. Noyce と Jack S. Kilby の 2 人から、それぞれ独自に考案しながら基本的にはまったく同じの、画期的なアイデアが提案された。それは、複数の半導体デバイスを 1 個のパッケージに収めるというものである。トランジスタは通常、ウエハーと呼ばれる薄く切ったシリコン片からできる結晶であり、一般に、同じウエハーから、1 回で数千個のトランジスタができる。ウエハーを切り分けて 1 個 1 個のトランジスタを作る代わりに、彼らが考えたのは、トランジスタを連結して (集積して) 1 枚のウエハー上で完全な電子回路を作ることだった。しかし、Kilby がマイクロワイヤーでデバイスを連結したのに対し、Noyce が思い描いていたのは、1 つのシリコン上でデバイス間を相互に連結した回路の製造である。この構想をもとに、Noyce は**集積回路** (IC) として知られる電子デバイスを開発し、1959 年 7 月 30 日特許を申請した。IC の構造が、灰色がかった結晶から切り取られた、1 枚の小さなシリコンチップであることから、現在では単に〝チップ〟と呼ばれことが多い。集積回路テクノロジーは、アナログ

式でもデジタル式でも応用できるが、この技術の最も重要な開発の所産は、マイクロプロセッサである。

集積回路には、独立した（ディスクリート）トランジスタで構成した回路に優る長所がいくつかあるが、その最たるものは小型化の一言につきるだろう。最も重要な点は、集積化によってパッケージの数を削減できることで、ロジックゲートごとに必要だった金属あるいはプラスチックのトランジスタケースは姿を消し、多数（数百万個におよぶ）のゲートを1個のチップパッケージに収めることができたのである。

チップ内部の電流は、外部の回路と直接に作用する必要がないため、チップは自在に小さく作ることができ、チップ上に構成した回路全体も、より小さくすることができる。実際、現在では、集積回路内の回路要素の大きさの制限は、ほとんど製造技術によって決まっており、内部回路の大きさは、現在の製造装置で可能な最小限度になっている。集積回路の技術を使用したIntelの最新のマイクロプロセッサは、直径約0.4ミクロンの連結線を使用して、百万個以上ものトランジスタを1つのパッケージに収めたものである。

集積回路の名称は、その回路要素の大きさに応じて階層化された。単に〝IC〟といった場合、最も粗い（集積度の低い）ものを指す。大規模集積回路（Large Scale Integration：**LSI**）は500〜20,000個の回路要素を集積したもので、超LSI（VeryLarge Scale Integration：**VLSI**）は20,000個以上の回路要素を1つのチップに集積したものである。最新の製品はたいへん複雑になり（たとえばIntelの486は、チップ内部に約120万個相当のトランジスタが入っている）、そのようなチップはUltra Large Scale Integration（**ULSI**）という新しい名称で呼ばれている。

温度の影響

回路はチップの中に高密度で詰め込まれているため、熱は大きな問題である。チップの結晶構造は繊細で、これを破壊する可能性のある熱は半導体の敵である。チップが過度に熱くなると、回復不能なまでに破壊されてしまうこともある。

熱によって、破壊という単純な事象だけでなく、もっと微妙な問題も派生する。半導体回路の伝導性が温度によって変わるため、チップが過度に熱くなったり過度に冷たくなると、トランジスタおよびロジックゲートの重要なスイッチング速度も変わってしまうのである。温度によって誘発される速度の変化によって、マイクロプロセッサの演算速度まで変わってしまうことはないが（チップは常にシステムクロックに同期しているため）、マイクロプロセッサ内の信号間の相対的なタイミングに影響を与える可能性がある。もしタイミングが過度に大きく変わってしまうと、マイクロプロセッサは誤動作し、結果的にシステムを破壊する可能性がでてくる。このため、すべてのチップには、このようなタイミングのエラーを生じずに動作することを保証する温度範囲が定められている。

チップは、速度が速くなるに伴い発熱量が多くなるため、発熱速度に熱の放射が追い付かない状態になる可能性がある。チップは、外部の熱源から熱を加えられなくても、内部からの発熱で自分自身に損害を与え、システムそのものが壊れてしまう恐れがある。このような問題の回避策として、コンピュータメーカーはしばしば、チップの冷却を補助する目的で、マイクロプロセッサやそのほかの半導体部品に**ヒートシンク**を付けている。

ヒートシンクは簡単な金属製の加工品で、マイクロプロセッサなどの発熱する回路部品の表面に取り付ける。これにより、チップの表面積が増加し、より多くの熱を放射できるようになるわけだ。ヒートシンクには、複数の〝ひれ〟が列状に並んだもの、ボーリングのピンのように並んだもの、あるいは幾何学模様に並んだものなどがあり、いずれの場合もチップの表面積を増加させるように配慮された形になっている。金属は熱の伝導率が高く、マイクロプロセッサの熱を素早く拡散できる素材であることから、通常、ヒートシンクにはアルミニウムが使われている。

ヒートシンクは、冷却を行うにあたり、外部のエネルギーを必要としない、つまり、電源を使用しないメカニズムである点から、**自然冷却法**といえる。ヒートシンクは**対流**を利用した冷却システムで、ヒートシンクを通って循環する空気に熱を

移してチップを冷却している。空気は暖められるとヒートシンクから上昇し、代わって冷たい空気がそこへ流れ込む。これが繰り返されて空気が循環し、チップが冷却されるという仕組みである。これとは対照的に、**強制冷却法**として、熱の除去に機械的あるいは電気的な手段を借りる方法がある。その中で最も一般的なものは、ファンを使ってヒートシンクの受動的な効果を増大させる方法である。ファンによって、自然に対流する量よりも多くの空気をヒートシンクを通し、循環させるわけだ。

3.4　マイクロプロセッサの内部

マイクロプロセッサの内部回路は、その機能によって、**入出力装置**（I／O ユニット）、**制御装置**、**論理演算装置**（ALU）の3つの部分に分けられる。制御装置と論理演算装置の2つは、合わせて**中央演算処理装置**（CPU）と呼ばれることも多い。またこの名称は、マイクロプロセッサ全体を示す単語としてもしばしば使われている。

入出力装置は、マイクロプロセッサとそれ以外の部分の回路とをつなぐもので、プログラムに従って、制御装置と論理演算装置のレジスタにインストラクションとデータを渡す機能を持った回路である。また、マイクロプロセッサ内部の半導体回路の信号レベルとタイミングを、ほかの部品に合わせる役目も果たしている。たとえば、マイクロプロセッサの内部回路は、より高速に、かつ発熱を抑えて動作できるように、電力消費を極力抑える設計になっている。マイクロプロセッサはとても繊細な回路なので、外部部品に連結するときに必要になる大きな電流を扱うことができない。このため、マイクロプロセッサから発信された信号は、電流を増加させるために、I／O ユニットの**信号バッファ**を通過するようになっているのである。

I／O ユニットは、数個のバッファから成るような単純な構成になっている場合もあるし、多くの複雑な機能を含んでいる場合もある。後者の例でいえば、最高性能のパーソナルコンピュータに使われている Intel の最新のマイクロプロセッサは、マイクロプロセッサの高速な動作速度を、外部の低速なメモリに合わせるために、I／O ユニット内に**キャッシュメモリ**と**クロックダブリング機構**を備えている。

制御装置は、クロックで制御される論理回路で、その名前が示すとおり、チップ全体の動作を制御するものである。一般的な集積回路とは違って、制御装置部の回路の全体的な機能はハードウェア設計によって決められるため、この回路自体は柔軟性がある。制御装置は、外部のプログラムに含まれているインストラクションに従い、論理演算装置に何をすべきか命令する。制御装置は、I／O ユニットからインストラクションを受け取ると、それを論理演算装置が理解できる形式に変換し、プログラムのどのステップを実行中なのかを絶えず追跡している。

論理演算装置は、マイクロプロセッサによって実行される算術演算と論理演算についての、すべての判断を司っている。制御装置でデコード（解読）されたインストラクションを獲得し、直接そのインストラクションを実行するか、もしくは、適切なマイクロコードを実行して、レジスタに置かれているデータを操作する。その結果は I／O ユニットを通して、マイクロプロセッサの外部に戻される。

3.5　マイクロプロセッサの分類

マイクロプロセッサの3つの構成要素は、相互に作用しあう関係にある。最も簡単な構造のマイクロプロセッサを例にとれば、ほとんどの場合、I/Oユニットは制御装置の制御下にあり、制御装置の動作は論理演算装置の演算結果によって決定される、という仕組みになっている。この3つの部分の組み合せによって、マイクロプロセッサの能力と性能が決まるのだ。

また、これらの各ユニットは、システムの処理速度に影響を与える。制御装置は、マイクロプロセッサの内部クロックを操作しており、そのクロック速度がチップの動作速度になる。また、I/Oユニットによってマイクロプロセッサのバス幅が決まり、このバス幅によって、データとインストラクションがマイクロプロセッサを出入りする速度が決まる。さらに、論理演算装置のレジスタの構成は、マイクロプロセッサが一度に処理できるデータ量を決めている。

レジスタの構成

レジスタは、マイクロプロセッサの種類によって数が異なるだけでなく、そのサイズも異なる。レジスタのサイズは、一度に処理できるビット数が基準になる。たとえば、16ビットマイクロプロセッサであれば、一度に16ビットのデータが保持できるレジスタを1個以上持っているわけだ。

レジスタの数を増やしても、マイクロプロセッサの本来の動作速度は速くはならない。パーソナルコンピュータで使用されるマイクロプロセッサの設計では、最高2個のレジスタに対する操作を一度に1つしか実行できない。しかしながら、レジスタの数が多くなればデータを置く場所が増え、マイクロプロセッサに情報を出入りさせる回数を減らすことができるため、プログラムのステップやクロックサイクルを節約できる可能性はある。つまり、より効率のよいプログラムを書く手助けになりえるのだ。

レジスタの数がマイクロプロセッサの動作速度を左右することはないが、レジスタの幅は、マイクロプロセッサの性能に多大な影響を及ぼす。各レジスタが保持できるビット数が多くなれば、マイクロプロセッサの各作業で処理できる情報の量も多くなる。したがって、たとえば、16ビットのレジスタは、潜在的には8ビットのレジスタの2倍の速度で演算できる能力があるということになる。

ただし、幅の広いレジスタを使用することが、実際に性能の向上に有利に働くかどうかは、走らせるソフトウェアに依存している。たとえば、コンピュータプログラムが、32ビットのレジスタを持つマイクロプロセッサに、16ビット単位でデータを処理するように命令した場合には、レジスタの能力はフルに活用されない。このため、16ビットのインストラクションを使って書かれた16ビットのオペレーティングシステムである「DOS」は、今日の高性能な32ビットマイクロプロセッサを十分に生かしきれない。これは、DOSの下で走るように書かれたほとんどのプログラムも同様である。

バスの構成

IBM互換のパーソナルコンピュータに採用されているマイクロプロセッサは、I/Oユニットに対して2種類の外部接続を持っている。1つはマイクロプロセッサがデータを送ったり受け取ったりする主記憶（メモリ）の位置（アドレス）を指示するもので、もう1つはデータやインストラクションそのものを伝えるものである。前者を**アドレスバス**、後者を**データバス**という。

マイクロプロセッサのデータバスのビット数は、情報を移動させる速度に直接影響を与える。チップが1回で使用できるビット数が多くなれば、その速度は速くなる。IBMの各種のパーソナルコンピュータには、8ビット、16ビット、32ビットの各データバスを持つマイクロプロセッサが使用されている。

一方、アドレスバスで使用可能なビット数によって、マイクロプロセッサがアドレス指定できるメ

モリの容量が決まる。たとえば、16本のアドレスラインを持つマイクロプロセッサは、2の16乗、つまり、65,536 (64K) のアドレスロケーションを持っているということになる。様々なパーソナルコンピュータに採用されているマイクロプロセッサのアドレスバス幅は、20ビットから32ビットまで様々である。

3.6　マイクロプロセッサの位置

通常の場合は、パーソナルコンピュータの中にあるマイクロプロセッサを、ユーザーが見たり触ったりする必要はまったくない。マイクロプロセッサの信頼性はこれまでに十分証明されており、将来的にもそれが維持されることは確かだ。したがって、マシンが正しく動作している限りは、コンピュータの内部にマイクロプロセッサというものが存在しており、これが与えられた仕事を処理しているということさえ知っていれば、マイクロプロセッサについて、ほかには何の知識も関心も持つ必要はない。しかしながら、昨今では、システムをアップグレードするために、新しいマイクロプロセッサをシステムに搭載したり、場合によっては交換したりすることすら要求されるため、なかなかそうもいってはいられなくなってきた。

まず、マイクロプロセッサを交換する前には、どのチップがそれなのか分からなければならない。とはいえ、これはたいへん簡単なことで、大抵の場合、コンピュータのマザーボード上にある中で一番大きいICチップを見つければ、それがマイクロプロセッサである。

システムボード上に大きいチップが複数ある場合でも、その中の1つはかならずマイクロプロセッサである。マイクロプロセッサ以外のチップでも、複雑な機能を持っているものは、システムボードと多数の接続点を持たせるために、多くのリードを接続できる大きいパッケージが必要で、マイクロプロセッサと同じぐらい大きいものもある。ほとんどのサポートチップがシステムボードに直接はんだづけされているのに対し、マイクロプロセッサチップは、ソケット(すぐ見える位置にあるものや、隠れていて見えないものがある)を介して搭載されるのが一般的である。また、ヒートシンクの下に隠れていることもあるが、熱放射用のフィンがあるのでそれと分かる。様々なマイクロプロセッサとそのパッケージについては、マイクロプロセッサのモデルの項で個別に詳述する。

3.7　マイクロプロセッサの系統

マイクロプロセッサの発展の歴史は、そのほとんどが"数"を増やすことだった。つまり、新世代のマイクロプロセッサでは、データバスとアドレスバスの幅を広げ、また、レジスタの数と幅を増加させており、結果として、これらで構成されるマイクロプロセッサとそれを搭載したパーソナルコンピュータはますます強力になった。

4004ファミリー

本当の意味で汎用マイクロプロセッサといえるものを初めて製造したのはIntel Corporationで、1971年のことであった。Intelがそのマイクロプロセッサに付けた「4004」という名称からも想像されるように、この画期的なチップは、4ビットのバスによって一度に4ビットの処理が可能なレ

ジスタを持っていた。4ビットというビット数は、現在の標準に比べるとまったく取るに足らないものだが、〝0″から〝9″までの数字と、それ以外のシンボルをコード化するには十分で、演算にもちょうど適したビット数だった。4004は、当時ずっと大型のコンピュータと同じ加減乗の演算機能（ただし速度では劣る）を有していた。

4004は、次のような経緯で誕生した。1969年に、Intelは日本の計算機メーカーであるビジコン社（現在はもうない）からチップを作る発注を受け、その要求仕様に合わせてTed Hoffが設計したチップが4004の始まりである。このとき最初に提案されたのは、様々なタイプの計算機に使われていた12個のチップを、ひとつにまとめることだった。12個のチップは、それぞれ異なる計算機専用に使用されていたため、必然的に各々の製造量は少なく、開発費をかけられないという問題があった。これに対し、Hoffが考えたのは、すべての計算機の要求を満たすような、1チップの汎用デバイスを創り出すことだった。結果として4004は成功を収め、ローコスト計算機の時代の到来が告げられた。そして、設計者達は初めて、プログラム可能な単体の半導体デバイスを手にすることができたのである。

大型コンピュータは数字だけでなく、アルファベット記号やテキストといった、4004の認識範囲を超えるものまで扱うことができる。マイクロプロセッサをより汎用度の高いデバイスにするために、アルファベット文字はもちろん、それ以上のものも扱うことができるように、チップのレジスタのサイズを拡大することが必要だった。6ビットあれば、数字に加えてアルファベットの大小文字を表わすことが可能だが（2の6乗で64個のシンボルをコード化できる）、これだと、句読点などの区切り記号や、制御コードなどの細かい文字をコード化する余地はほとんどない。さらに、デジタルデータの標準単位として〝バイト″（=8ビット）が登場したこともあり、結局、1972年に発表されたIntelの「8008」という次世代のマイクロプロセッサのレジスタのサイズには、8ビットが採用されることになった。

ただし、8008は、実質的には各レジスタのビット数が増えただけの、単なる4004の改訂版である。8008はたいへん興味深く、かつ実用的なチップで、パーソナルコンピュータを初めて作り出す試行錯誤の過程において、そのマイクロプロセッサとして採用されることになった。

8080ファミリー

Intelは（ほかのICメーカー同様）さらに開発を続け、1974年、かなり思い切った改訂版として「8080」というチップを作った。8080は8008とは異なり、バイトサイズのデータを前提とし、8008の全コマンドはもちろん、それを上回る量のコマンドセットを持っていた。Intelのマイクロプロセッサ開発のパターンはここで決まった。つまり、古くなったものを完全に捨て去るのではなく、それを進化させる形で、コマンドセットの量と性能を増大させ、ソフトウェアの下位互換を保証するのである（ただし互換性には制約がある）。このような改良によって、8080は、小型コンピュータのベースとして必要な能力を備えた、最初のチップになった。

このとき、8080を改良するさらに素晴らしいアイデアを思い付いたIntelの数名のエンジニアは、自分たちでZilog Corporationを設立し、そのアイデアを実現した「Z80」マイクロプロセッサを世界に向けて発表した。Z80は、8080を進化させてより多くのインストラクションを持たせたマイクロプロセッサだったが、それだけには留まらないさらに大きな意義を持っていた。Z80は、小型コンピュータの標準オペレーティングシステムとして最初に広く受け入れられた「CP／M」（Control Program for Microcomputers）の能力を開花させて、一大変革を起こしたのである。

オペレーティングシステムは、プログラムとマイクロプロセッサ、そしてこの2つに関連するハードウェア（記憶装置など）の3者を連結する特殊なプログラムである。Digital Researchによって開発されたCP／Mは、大型コンピュータに採用されていたオペレーティングシステムを範にして、それをマイクロプロセッサ上で動作する大きさにまで縮小したものである。完全とはいえないまでも、多くの業務用小型コンピュータの標準になる

には十分な出来であった。CP／Mは馴染みやすく、大型コンピュータのプログラマもこれに容易に適応することができたため、CP／Mは彼らからも支持された。CP／Mは8080の上で走るように設計されていたが、Z80チップはそれより高い性能を提供することができたことから、CP／Mシステムを動作させるためのプラットフォームとして選ばれることになった。

この間にも、Intelは8ビットマイクロプロセッサの設計改良を続けていた。その1つの成果が「**8085**」である。8085は8080にさらに改良を加えたもので、単一の5V電源を使用し、8080に比べて周辺チップが少なくて済むように設計されていた。さらに、ベクトル割り込みとシリアルI／Oポートまで含まれた設計になっていた。しかし残念なことに、小型コンピュータ業界からの支持はまったく得られず、8085を採用して設計されたわずかな小型コンピュータも、現在では完全に忘れ去られてしまっている。

8086ファミリー

1978年、Intelはさらにテクノロジーを押し進め、レジスタのサイズを2倍の16ビットにして、8080の10倍の性能向上を謳ったマイクロプロセッサ「**8086**」を開発した。8086は8080の改良版で、2倍の速さで情報を入出力できるように、データバスのサイズも2倍の16ビットに増やされ、さらに、8080より格段に大きい20ビットのアドレスバスによって、1,000,000バイト(1Mバイト)を超えるメモリを直接制御することも可能になった。

8086は、Z80の〝従兄弟〟として、また8080直系の後継チップとして、コマンドセットのほとんどを初期のチップと共用していた。8080のコマンドが8008のコマンドを改良して作られたように、8086のコマンドも8080のコマンドを基にして改良されたものだ。8086のレジスタは巧みな設計になっており、16ビット幅でも、また8080のレジスタと同じ8ビット幅でも動作できる。

■ セグメントメモリ

8086では、メモリシステムも8080のメモリのスーパーセットになるように考慮された。8086の1Mバイトのメモリは、1Mバイトを1つの自由空間にするのではなく、64Kバイトずつ16個の**セグメント**に分割されている。実質的には、8086のメモリは64Kの8080のメモリを連結したものである。8086は各セグメントを個別に見ているため、複数のセグメントにまたがるような、大きなデータブロックを存在させることはできない(厳密には可能だが、少なくとも簡単ではない)。

様々な点で、8086は時代を先取りしたチップであったといえる。8086が作られた当時、小型コンピュータは8ビット構造をベースにしており、メモリは高価で、1Mバイトなどは十分すぎる大きさと思われていた。また、ほかのほとんどのチップは、16ビットのデータを一括して処理できる設計にはなっていなかった。このため、8086を採用すると、エンジニアは、当時はコスト効果のまったくなかった、フル16ビットのデバイスを設計しなければならなかった。

■ 簡易版8086＝8088

上のような16ビット設計のコストの問題を考慮して、Intelは8086の発表から1年後に「**8088**」を発表した。8088は、16ビットのレジスタ、20本のアドレスライン、同一のコマンドセットといったように、すべての点で8086と同じだったが、1つだけ違う点があった。それは、データバスが8ビットに減らされたことで、これによって8088は8ビット仕様のハードウェアを利用することができたのである。

もし、最初のパーソナルコンピュータの設計をひそかに始めていたIBMに採用されなければ、8088は設計が一歩後退したチップとして、8085のように歴史の中から消えてしまっていたかもしれない。IBMの意図が、8088を使用してパーソナルコンピュータのコストを削減することであったのは明らかだ。8088の8ビットデータバスは、安価ですぐ手に入るサポートチップが利用できた。同時に、8088の内部設計が16ビットになっている点は、これを採用したマシンを宣伝する際に、すでに出回っている8ビットマシンに対する大きな強みとなった。

また、8088が8080の流れを汲んでいるという

ことは、当時使用されていたCP／Mプログラムという財産を、8088の新しいハードウェアに簡単に移植できる可能性を暗にほのめかしていた。しかし、結局はこれらの利点は一時的なものであり、幻想であることが明らかになった。16ビットのサポートチップは安価に供給されるようになり、「IBM」のブランド名のほうが8088の16ビットレジスタよりも価値があることが分かり、CP／MプログラムがPCに直接移植されることはほとんどなかったからである。

結局、中途半端な8088の重要性は、小型コンピュータ世代の基礎になった点にある。PCの互換機開発への最初の道は、8088によって敷かれたのである。

8086は、8088の2倍の速さを実現する能力があり、8088とほぼ完全な互換性がある。このため、性能を競い合っていたメーカーは、新たな開発を行って、8086を採用したパーソナルコンピュータを設計した。IBMでさえ、ローエンドのPS／2を高性能にするために、古くても性能の高い8086を選んだ。

8088と8086は、互換性があるとはいえ、交換して使用することはできない。8086はデータの幅が8ビットぶん増えているので、さらに8本のデータライン（リード線）が必要になる。したがって、両者のチップの接続方法は異なる。8088と8086は、1対1のピン互換でもプラグ互換でもないため、コンピュータはどちらか一方のチップに合わせて設計しなければならないのだ。

■ 省電力設計

通常のマイクロプロセッサは、機能を実行するのに数ワットの電力を必要とする。電気を壁のコンセントから引く場合なら、電力量は問題にならない。普通の家庭では10kWぐらいの電力量があり、各コンセントも、2kW程度は供給できるようになっているからである。しかし、バッテリはこんなに気前がいいわけではない。たとえば、AA電池だと、供給できる値はおおよそ20mW（0.02W）ぐらいだろう。したがって、ポータブルと呼ぶのにふさわしいコンピュータを作るときにバッテリ電源を使用すると、マイクロプロセッサを駆動するのに必要な電力量について、大幅な削減が要求される。

オリジナルの8086チップと8088チップは、設計は容易だがエネルギーの消費が大きいNMOSテクノロジーを使って設計されていたため、低消費電力が必須条件であるラップトップやノートパソコンには不適当だった。このため、電力を浪費するNMOS設計の欠点を補うCMOSテクノロジーをベースにした、同等のマイクロプロセッサが開発された。

8088と8086にはCMOS設計のバージョンがあり、それらは名前の中に〝C″を入れて、「80C88」、「80C86」という名称を付けて、NMOS設計のものと区別している。この低電力マイクロプロセッサは、NMOS設計の同等品と、ロジックの点ではまったく同じで、同一のコマンドセットを持ち、同じプログラムが走る。しかし、電気的な要件が異なるため、コンピュータは、CMOS回路あるいはNMOS回路のどちらか一方に合わせて設計しなければならない。一方に合わせて設計されたパーソナルコンピュータを、電気的に不都合があるからといって、単純にもう一方へ置き換えることはできないのである（ラップトップコンピュータで交換が可能なものも一部あるが、これらのマシンはほとんど例外なくCMOSのマイクロプロセッサを採用している）。

■ さらなる集積化

マイクロプロセッサが、その小さな銀色のシリコンに、数千個の論理要素を合体させてできているように、さらに多くの機能を1個のチップにまとめることが可能だ。小型コンピュータの構成には、通常、マイクロプロセッサのほかに、割り込みコントローラや、タイミングジェネレータ、バスコントローラといった特殊な回路が含まれているが、これらの機能をすべてマイクロプロセッサの回路に組み入れて、1個のチップにすることも可能なのである。

通常は、マイクロプロセッサには、これらの特殊な回路は含まれていない。なぜなら、マイクロプロセッサは汎用デバイスであり、デスクトップコンピュータシステムにのみ、用途を限定したも

のではないからだ。前述の回路を追加しても、工業用プロセス制御システムなどに使用される場合には、無駄になってしまう。

しかし、小型コンピュータ産業が成長するに従い、小型コンピュータ専用に最適化されたチップの市場も大きくなり、Intel が 8086 を作った頃には、1 つのベースにサポート回路まで組み入れた完全なチップである 8086 も、市場の可能性を認められるほどになった。1982 年に「80186」という名前で発表されたチップは、多数の互換機と、少なくとも 1 種類のアップグレードボードに採用された。また Intel は、「80188」というチップも発売しているが、これも基本的には 80186 と同じようなチップで、8088 を採用し、80186 より多くのサポート回路を組み込んだものである。

■ 海外の競合品

米国外にも、8088 や 8086 と交換して使用できるチップが 2 つある。日本電気 (NEC) の「V20」(8088 と互換) と「V30」(8086 と互換) である。これらのチップは、Intel のチップと同じコマンドセットを使用しているが、両者はけっして同一のものではない。NEC のチップは、後発の優位性を生かして設計されているため、ほとんどのマイクロコードが異なっているという点がもっとも大きな相違点だ。8088 を V20 に、あるいは 8086 を V30 に交換すると、マイクロプロセッサ全体のスループット (処理能力) を 10%から 30%まで向上させることができ、当然これらのチップを使ったコンピュータも高速化できる。

すべての集積回路の設計には、数年間にわたる研究と開発の成果が含まれている。このような成果は、他人が**リバースエンジニアリング** (設計から製品を作るのではなく、製品そのものを解析して別の製品を作ること) によって模倣されることから保護できる。自社のチップの設計を他社に盗用されることを防ぐために、ほとんどの IC メーカーは、特許、著作権、および機密事項に対して適用される、あらゆる法律上の防衛策を講じている。

これに対して、製品のセカンドソース (二次供給) を確保するために、チップのシリコン回路を製造するための**マスク**の使用を、他社にライセンスすることもある。ライセンス供与やセカンドソース供与は、元の設計者がロイヤリティを得るために行われることもあるが、多くの場合は、IC を購入する側が、1 つのソースからしか供給されない製品に対しては猜疑心を抱くことから、チップの生産量を増やすために行われる。セカンドソースは、労働力や製造上のトラブルから離れて、競争によるコスト削減を実現できる場合もある。Intel は Advanced Micro Devices や IBM に、多くの自社のチップの生産をライセンスしている。

■ チップの識別とパッケージ

Intel の 8088 と 8086 は (プラグ互換の NEC V20 と V30 も同様)、デュアルインラインピン (DIP) パッケージに収められている。このエポキシプラスチック製の黒いパッケージは、縦約 2 インチ、横約 0.5 インチの長方形で、足の少ないムカデのように、合計 40 本のピンがパッケージの長辺に沿って両側に並んでいる。パッケージの切り込みを上にして、チップを上から眺めた場合、1 ピンは左上にある。Intel は、1 ピンの位置がすぐ分かるように、1 ピンのすぐそばに点のような印 (くぼみ) を付けている。

Intel は、黒いプラスチックケースの上に白い文字で、自社のチップの名称などをシルクスクリーンで印刷している。大きな "i" の文字は Intel Corporation が製造元であることを示している。これに対し、Advanced Micro Devices は頭文字の "AMD" を自社のチップのマークとしている。Intel のチップでは、チップのラベルの一番上の行はチップの名称を示し、チップ名は多くの場合 "P" の文字で始まっている。

■ 速度定格

8088 と 8086 は、5MHz および 8MHz の 2 種類の速度定格のものがある。モデル名だけのもの (8088 など) は低速仕様で、モデル名に "−2" が付いたものは高速仕様である。たとえば、「8088−2」は 8MHz 仕様ということになる。

NEC のマイクロプロセッサでは、チップ名に付いている数字が、そのチップの定格速度を表わしている。したがって、たとえば「V20−8」なら

8MHz仕様ということになる。

チップ名の2行目には、そのチップが製造された週を含めた、コード化された製造情報が記されている。

80286ファミリー

1984年、「IBM PC/AT」の発表によって、人々の注目は、Intelのマイクロプロセッサの新たな製品に注がれることになった。すでに1982年に発表されていた「**80286**」である。このチップの前世代の製品である8086に比べると、80286はパーソナルコンピュータ用としてより優れたいくつかの特徴を持っている。まず、16ビットの内部レジスタを持った、フル16ビットのデータバスを採用している点がその1つである。また、より高速な動作を目指して設計されており、最初は6MHzだった速度定格は、すぐに8MHz、10MHzと向上していった。最終的には12.5MHz、16MHz、20MHzで動作するバージョンも供給されるようになった。さらに、このクロックスピードの高速化に合わせて、機能もより高度になり、高速化だけに留まらない、優れた性能を有するに至った。たとえば、最初のATの動作速度は、初代PCの25%増であるが、後にはおよそ5倍のスループットを達成している。

■ 16Mバイトのメモリ容量

しかし結局のところ、80286において最も重要なのは、その優れたメモリ処理能力であった。8088／8086はアドレスラインを20本持っていたが、80286ではこれが24本になった。この増加した4本のアドレスラインによって、チップがアドレスできるメモリの最大容量は15Mバイト増加し、合計16Mバイトになった。

■ 仮想メモリ

また、80286では**仮想メモリ**が使用できるようになった。仮想メモリは、その名が示すとおり、実際の物理メモリのチップでできているわけではない。仮想メモリは、正確には大容量記憶装置の一部であり、ここに格納された情報は、必要なときに物理メモリに転送できるようになっている。80286には、物理メモリと仮想メモリのデータを識別する特別な機構を備えているが、交換するデータの転送（スワップ）を実際に処理する回路が別途必要になる。チップは16Mバイトの物理メモリと1,008Mバイトの仮想メモリの、合計1Gバイト（1,024Mバイト＝約10億バイト）まで操作することができる。

理論的には、80286の強化されたメモリ処理能力によって、Intelの初期のマイクロプロセッサが超えられなかった、1Mバイトのアドレッシング範囲の壁は過去のものとなったが、この改良は現実的で実用に即したものとは認められなかった。

その理由のひとつは、互換性の問題であり、もうひとつは慣例の問題である。80286の市場投入の準備ができる前に、IBM PCの成功はすでに確実になっていた。また、ソフトウェアの確固たる基礎は、8088と8086用として構築されていた。そのソフトウェアを使用しないことには、改良チップの受け入れは促進されなかったのである。

■ リアルモード

古いチップとの互換性を維持するために、80286には「リアルモード」と「プロテクトモード」という2つの動作モードが与えられた。**リアルモード**は8086の動作をほぼ正確にコピーして設計された。互換性を持たせるために、かなり忠実にコピーされたため、メモリの1Mバイトの制限をはじめとする、8086を使用する際のすべての制限が、リアルモードにも引き継がれることになってしまった。メモリアドレスの認識を8086とまったく同じにするには、この制限が不可欠だからである。

■ プロテクトモード

80286アーキテクチャで強化されたメモリ処理能力を利用するために、Intelは**プロテクトモード**というものを考え出した。プロテクトモードは、既存の8086のプログラムとの互換性はないが、このモードを使えば、特別に書かれたプログラムなら、16Mバイトの物理メモリと、1Gバイトの仮想メモリのすべてを利用できるようになる。

8086よりさらに高速に動作し、より多くのメモリを扱うことができた80286は、大きな成功を収めた。ただし、プロテクトモードがプログラマの

支持を得られるようになったのは、しばらく後のことである。ATが発表されてから、IBMに採用されたプロテクトモード用オペレーティングシステムである「OS/2」が供給されるまでの間に、ほぼ3年の月日が流れた。

■80286の欠点

プロテクトモードがなかなかサポートされなかったのには、2つの理由がある。ひとつは、DOSの制約のもとでプログラムを書かなければならないプログラマにとって、リアルモードとプロテクトモードの切り換えは大きな問題だったからだ。Intelは、いったん16Mバイトを享受してしまったら、誰も貧弱なメモリ容量に戻りたいとは思わないだろうと考え、この切り換えを一方通行にすることにした。80286はリアルモードからプロテクトモードへのギアチェンジは簡単だったが、シフトダウンは不可能だった(チップは最初はリアルモードで動作を開始するため、シフトアップは常に必要だった)。プロテクトモードに入ったあとで、リアルモード制御に戻る唯一の方法は、マイクロプロセッサをリセットすること、つまり、コンピュータをリブートすることである。

もう1つの理由は、プロテクトモードは、プログラマの夢を部分的に実現したにすぎないということだ。たしかに、プロテクトモードによって、使用できるメモリの容量は多くなったが、64Kバイトのセグメントで動作する点には変わりはなかった。ソフトウェアのプログラマには、自由に飛び回ることができる広いグランドの代わりに、無数の小さな箱が与えられ、そのあいだでデータを行き来させなければならなかったのである。

386DX

DOSを超えた素晴らしい新世界を、表面上でしか実現できなかった80286とは異なり、Intelの次世代マイクロプロセッサは、DOSとその上に構築された160億ドルのソフトウェアライブラリにまでその力を広げた。

1985年に発表された「386」は、80286で得られた厳しい教訓を踏まえ、プログラマたちの要求と夢とを実現させた。386は、これまでのIntelのマイクロプロセッサ以上の速度、性能、汎用性をもたらすものであった。8088や8086、80286でできることは386でもほぼ完全に実現可能で、性能とパワーの点では、これらのチップを大きく超えていた。

それまでは、頭に思い描かれていただけだった進歩が、386によって現実のものとなったため、80286は低速で欠陥の多い失敗作のように見える。かつてのIntelの社員の中には、80286の欠点を、8086よりも早い時期に設計がスタートした結果として片付けてしまう者もいた。本来、80286には8080の後継チップという基本コンセプトが与えられていたのに、開発の途中で、あまりにも多くの野心を試みてしまったせいかもしれない。8086は設計目標を再評価するところから生まれた。80286は、製品の元となるアイデアがそもそも古かったのだ。

80286とは対照的に、386(ここでは下位製品の386SXとは区別して、386DXのことを指す)は、パーソナルコンピュータおよびマイクロプロセッサの市場を十分意識して開発された。このため、386には、Intel製のほかのプロセッサのセールスポイントをすべて備えさせる必要があった。たとえば、386のインストラクションセットは80286のスーパーセットになっており、どんなに古いソフトウェアでも問題なく走る。それだけでなく、386は新しい機能も装備していなければならない。それは人々に受け入れられるだけでなく、セグメントメモリという足かせを持たないほかのメーカーのマイクロプロセッサから、エンジニアを引き寄せるだけの魅力がなければならなかった。

■32ビットの処理能力

まず第一に、386は純粋な処理能力という点で飛躍的に前進した。レジスタのサイズとデータバスの幅は、以前のマイクロプロセッサの2倍の32ビットになっている。80286などの16ビットチップの2倍の速さで、データをチップに取り込み、処理することができた。

■ クロックの高速化

386は当初から、AT互換機の速度戦争から一歩抜きんでる高速チップとなるべく設計されていた。ちょうど、80286の生産が中止されるのと入れ代わりに、〝CHMOS〞と呼ばれる半導体テクノロジーを使用した386チップが初めて市場に投入された。まず、12.5MHzと16MHzの2種類の定格の386が供給されたが、前者は、高速化を追い求めるコンピュータの設計者からは、ほとんど相手にされなかった。その後まもなく、20MHzバージョンのものも発売されるようになり、1988年には、25MHz、続いて33MHzと高速化されていった。現在、動作速度が40MHzと50MHzの386チップ搭載マシンが、いくつかのコンピュータメーカーから発売されている。

■ 温度制限

一部のコンピュータメーカーでは、しばしば、チップメーカーの定格を超えた速度でチップを動作させることが行われている。速度定格の異なるチップの間でも、設計上の差異はほとんどないため、こういうことができるのだが、そこには大きな問題が1つある。論理思考（演算）が行われるたびに、デジタル回路のスイッチング動作が起こるので、動作が高速になれば発生する熱量も増えることは、前述のとおりだ。低電力のCMOS回路でさえ、デジタル式の切り換えが起こるときには、チップを熱するほどの大きな電流を必要とする。高速動作には、一定期間に多くの電流が急激に流れ、チップが加熱するという弊害が伴うのである。

熱は半導体回路の最大の敵である。熱によって半導体回路の信頼性は損なわれ、場合によっては、回路自体が破壊されることもある。実際、クロック速度をわずかに上げるだけで、チップの温度は驚くほど上昇する。速度定格を超えてマイクロプロセッサを動作させると、信頼性が低下したり、場合によっては復帰不可能な損傷を受けることもあるので注意が必要だ。この意味では、ヒートシンクは、熱を放射させることによって、チップの冷却を助けると同時に、高速動作時の信頼性の向上に役立つといえよう。

■ メモリアーキテクチャの改良

386では、データバスの32ビットへの拡張を完全にするために、アドレスラインの数も32本に増やされ、この拡張だけで、最大4Gバイトの物理メモリに直接アドレスできるようになっている。さらにこれに加え、仮想メモリは最大16Tバイト（1Tバイト＝約1兆バイト）まで扱うことができる。386は、物理メモリと仮想メモリのすべてを管理するのに十分な機構を内部に持っているのだ。

386における目ざましい進歩は、メモリの構成方法である。メモリはすべて、1つの連続したセクションとしてアドレス指定ができるため、プログラムやデータの構造は、チップの全記憶容量と同じ大きさにできる。このメモリ構造は、セグメントメモリとは違って、プログラムにとっては、広大で自由な大草原のようなものといえる。

このメモリは、セグメントに分割することも可能で、分割するかどうかは選択できるようになっている。しかも、セグメント長は64Kバイトに制限されていない。プログラム（またはプログラマ）にとって都合のよい大きさにすることができる（物理メモリの限界である4Gバイト以下ならば、実質的なセグメントの制限はないことになる）。

さらに、386には16バイトの**プリフェッチキャッシュメモリ**が組み込まれている。この特殊なオンチップのメモリエリアは、チップが実行しているプログラムの、次のインストラクションを記憶する場所である。つまり、チップの演算処理とは無関係に、実際に必要になる前に、特殊な回路がソフトウェアのコードをこのメモリへロードするのである。この小さなキャッシュのおかげで、システムメモリからコードを検索する際の待機時間が少なくてすみ、386はよりスムーズに動作できるようになっている。

■ マルチモード

以前のマイクロプロセッサ、およびDOSプログラムのライブラリとの互換性を維持するために、386は、可能な限り8086や80286と互換性を持つように設計されている。したがって、これらのプロセッサと同様に、386には、1Mバイトのアドレッシング範囲の制限を持つリアルモードがあり、

互換性のために386はこのモードでブートし動作する。

また、リアルモードからプロテクトモードへの切り換え可能な点も同じで、プロテクトモードでは、286に比べて自由になるメモリ容量が多く、セグメントサイズが変更できるために操作に柔軟性があるという点を除けば、働きは80286とまったく同じである。80286と異なるのは、386では、モードの切り替えにリセットは必要なく、ソフトウェアの簡単なコマンドで切り替えられる点である。

■ DOSの適合性

仮想8086モードと呼ばれる新しいモードによって、386はDOSプログラムを走らせる際に、特別な自由を与えられている。このモードでは、386がシミュレートする8086の数は1個だけではない。ほとんど無限といってよい数の8086を、同時にシミュレートするのである。このモードによって、386マイクロプロセッサは自分のメモリを分割して、8086マイクロプロセッサを搭載した、完全に独立したコンピュータのように動作する仮想コンピュータを、何台も作り出すことができる。

それぞれの仮想コンピュータは、ほかの仮想コンピュータから完全に独立しており、それぞれが別のプログラムを走らせることができる。これは、複数のDOSプログラムを、1台の386コンピュータで同時に動かせるということだ。この種のマルチタスク(1台のコンピュータで、2つ以上の異なる処理を同時に実行すること)は、386の独特なアーキテクチャがなくても可能だが、そういうシステムのほとんどは、複雑であるか信頼性が低いかのどちらかである。さらに、マルチタスク操作を実行するためには、ソフトウェアはそのマシン固有の基準に従って書かれていなければならない。一方、386では、複雑な処理はすべてハードウェアで行われるため、マルチタスクを制御するソフトウェアの重要性は低く、一般に発売されているDOSプログラムは、ほとんどの386ベースのマルチタスク環境で修正なしで動作する。

■ 最初の失敗

386は、ほかのマイクロプロセッサよりも厳しい産みの苦しみを経験した。最初のリリース直後には、早くも、32ビットの数値演算を実行する際に演算ミスを引き起こす設計エラーが見つかった。実際には、このチップを使った最初のPC互換機では、DOSが16ビット動作であったため、この問題は発見されず、ソフトウェアが386の32ビットモードを使うときだけ、無作為にエラーが発生した。

このエラーは発見が早く、すぐに修正されたため、1987年4月以降に製造された386チップではこの問題は発生しない。修正後に製造されたチップには、Intelによって**ダブルシグマ**の記号が付けられている(図3-1参照)。ユーザーへ出荷される前にリコールされた初期のチップは、当然トラブルを発生する可能性があり、これらの一部(全部ではない)は、Intelによって〝16-bit Operations Only〞の文字が印字されて出荷されている。このチップはすべて、16ビットバージョンのDOS(バージョン5.0以前)か、最初にリリースされたOS/2(バージョン1.0および1.1)で、32ビットの演算を使用していないものであれば、問題なく動作する。

Intelは、「Intel Inboard 386」(現在は製造中止)や「Snap In 386」のような、〝PCエンハンスメントオペレーション〞(アップグレード戦略)で製造された製品以外は、エンドユーザーに対する直接のサポートは行っていない。このようなピギーバックの386は、286ベースのコンピュータと交換できる。これ以外の製品との交換は、その製品を売っている販売店で行うことになっている。もし、Intelが製造した386ベースのコンピュータに、例の不良チップが搭載されてたら、販売店に連絡して交換してもらったほうがよいだろう。

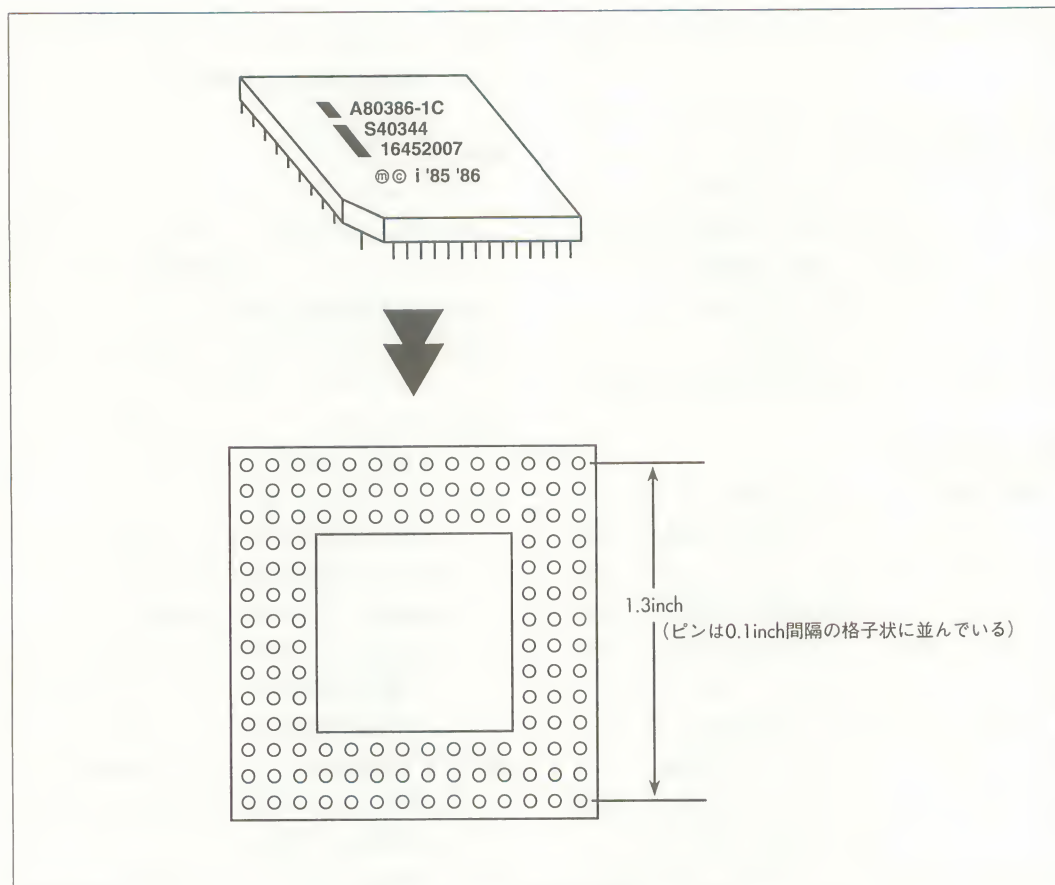



図3-1　ピングリッドアレイソケット（PGAチップ搭載用）

386SX

386アーキテクチャの価値は、このチップに人々が何を求めるかによって、おおよそが決まる。そして、実際多くの人が求めるのは高速性である。人々はうなりをあげて高速に演算が実行されるのを望んでおり、このためにかかる余分な費用は二の次である。こういう人のために、386の設計においては32ビットの処理能力が基本になっている。

しかし、長所はそれだけではい。386のマルチユーザー、マルチタスク機能は、これらを利用したい人々にとって、大いなる魅力になっている。このようなユーザーにとって、仮想8086モードは、386のチップの中で最も価値のある部分であり、扱えるメモリ容量が大きい点は、このチップをさらに価値あるものにしている。386のスピードは現行と変わらないが、386チップが、DOSやOS／2のような標準の16ビットソフトウェアに適度な性能の向上をもたらすことを考えれば、マルチタスクを求めるユーザーにとっては、そのようなことは問題にはならない。

■究極の折衷策

Intelは、まさにこういうユーザーに向けて、最終的な折衷策として、386DXをスケールダウンしたチップ「**386SX**」を作った。386SXは386DXより性能は落ちるが、機能は維持している。安価な8ビットの部品をもっと使用できるようにという意図で、8086から8086が派生したのと同様に、386SXは386DXの妹として作られた。そして、8088のエポキシケースの中身が、実は8086に似せた16

ビットチップであったのと同じように、386SXは、内部的には386DXと同様で、フル32ビットレジスタと、同じ操作モードを持っている。

386SXと386DXには、大きな点では2つの違いしかない。1つは、386DXが32ビットメモリバスに対応するインターフェースになっているのに対し、386SXは16ビットバス用に設計されている点である。このため、386SXの32ビットレジスタにデータを置くには、16ビット入出力チャネルを通して、2段階のステップを経なければならない。もう1つの相違点は、386SXはメーカーにとって低価格であるという点だ。ただしこれは、今日の市場で顕著に表われているだけで、実際は、386DXチップと386SXチップの価格については、少なくともコストだけで比較した場合には、386SXのみが採用されて普及していくことのないように、コスト差が小さくなるように配慮されている。

しかし、386SXは決して怠け者ではない。最初のバージョンは16MHzで動作していた。これは、最初に普及した80286が8MHzで動作していたのに比べれば、2倍の速さである。16ビットの入出力チャネルにもかかわらず、386SXが同等の速度仕様の80286よりも高速で動作できるのは、チップ内に入ったインストラクションは、286の2倍の速度で処理できるからである（1回の処理は16ビットではなく32ビット単位である）。

さらに、386SXは386DXと同じ32ビットのインストラクションが理解できる。そしてDX同様SXも、Intelの以前のマイクロプロセッサの16ビットおよび8ビットのインストラクションの上位互換である。

■ 386SXが登場するまで

386SXは、1988年6月の発表のかなり以前から、コンピュータ業界の中では〝P9〟というコードネームで話題になっていた。Intelが386SXという名称に決めたのは、386DXマイクロプロセッサが獲得した圧倒的に有利な評判を利用したかったからだろう。

P9はしばらくの間、80286とプラグ互換のアップグレード版になるのでは、と噂されていた。理論的には、古いチップをP9に換えて、386パワーを実現することは可能だろうが、実際の386SXの最終設計では、この単純な置き換えはできないようになっている。

■ 異なるパッケージ

386SXと80286は、まったく異なるパッケージに入っているため、同一のソケットに差し込むことはできない。これはおもに、80286では、リード線の数を減らすためにバスの接続をマルチプレックスにしたのに対し、386SXはマルチプレックスを採用していないからである。結果として、386SXでは80286よりも簡単なインターフェース回路があればよく、このため、ローコストのコンピュータでは進んで386SXが採用されることになった。

■ 将来の展開

Intelは、80286ベースのマシンから386マシンへのアップグレードを促進する、「Snap In 386」と呼ばれるピギーバックカードを発売した。Snap In 386は80286のソケットに接続して、既存のコンピュータに386の機能を追加する安価な手段だった。

その一方では、386SXは80286よりチップ自体の価格がわずかに高いうえ、定格速度で動作させる場合は、高速で高価なメモリが必要である。このため一般に、386SXをベースにしたコンピュータの価格は、80286ベースのものよりも高い。しかしそれでも、386アーキテクチャの高い人気と、80286マイクロプロセッサが終焉を迎えつつあったことを考えれば、ユーザーにとって、386SXは新たな掘り出し物として適切な選択対象といえよう。さらに、386の機能を必要とするソフトウェアがますます多くなるにしたがって、386SXは一層魅力的なものとなり、反対に80286は廃れていく宿命にある。したがって、将来のことを考えるなら、386SX搭載のマシンを購入すべきだろう。80286を使っていても取り残されていくだけである。

386SL

SLシリーズのチップは、ローパワーでポータブルタイプのアプリケーション用に設計されている。386SLシリーズのチップは、基本的には、386DX

互換のマイクロプロセッサである。SLのチップには**パワーマネージメント回路**があるため、標準よりも低い電圧で動作し、基本的には従来のチップより消費電力が少ない。386SLのモデルの中には、二重の内部パワープレーンを持っていて、5Vまたは3Vのどちらの電圧でも動作可能なものもある。このチップは、従来どおりの5Vシステムでも、ローパワーのポータブルタイプあるいはラップトップタイプの設計でも使用することができる。Intelが発売している4種の386SLチップは次のとおりである。

- 5V、20／25MHz、キャッシュ付き
- 5V、16／20／25MHz、キャッシュなし
- 3.3V、20MHz、キャッシュ付き
- 3.3V、16／20MHz、キャッシュなし

SLのチップセットには、設計者が柔軟にカスタムシステムを設計できるような追加機能が含まれている。たとえば、SL CPUは、オプションの**フラッシュメモリディスク**をサポートしている。〝フラッシュメモリ〞とは、不揮発性リード／ライトRAMを指すIntelの用語である。フラッシュメモリは従来のRAMよりもかなり遅く、特殊なインターフェース接続を必要とするが、SLチップを使用すれば、標準のISAデータバスドライブとして、最大16Mバイトのフラッシュディスクメモリを搭載することが可能になる。このメモリディスクは、ポータブルマシンやラップトップマシンで最も有効に活用できる。フロッピーベースのマシンなら、従来の磁気ハードドライブの代わりに16Mバイトフラッシュディスクを搭載して、電力消費量を節約し、外形サイズを縮小することが可能になるのだ。

SLチップには新たに、〝**システムマネージメントインタラプト**〞(SMI)と呼ばれる、マスク不能型割り込みが追加されている。これはIntelが「IdeaPort」と呼んでいるものの制御に使用される。これと一緒に使用される〝レジュームインストラクション〞(RSM)は、様々な入出力ピンを、ユーザーからは見えない形で制御するために、SMI割り込みと共に使用される。たとえば、この機構を使えば、活動していない周辺デバイスに停止信号を送るなど、SLチップのパワーマネージメント機能を高めることが可能になる。SMIインストラクションは、ロード可能なデバイスドライバの中や、システムのBIOSコードの中に含めることができる。こうすれば、オペレーティングシステムの修正は必要なく、実際、オペレーティングシステムから隠された形で、SMIインストラクション操作をすることが可能だ。

SLシリーズチップのクロックの最高速度は25MHzだが、電力を節約するために、特定の操作時にはこれを遅くすることができる。

チップの動作速度が速くなるに従い、消費する電流も多くなるということを思い出して欲しい。ラップトップやノートパソコンのような、電力の条件が厳しい用途では、キーボードからのデータエントリのように、スピードを必要としな操作の間は、クロックデバイダー機能(2分の1、4分の1、8分の1が可能)によって、プロセッサの動作速度を低減することができる。その後で、演算かI／Oの動作が実行されるときに、プロセッサをもとの最高速度に戻すのである。この機能は、SLシリーズチップの特徴であるパワーマネージメント機能の1つである。

386SLチップでは、バッテリの容量が少なくなった場合、システムをシャットダウンするために、3種類のバッテリアラームが使用できる。また、バッテリの残量がいよいよ差し迫った状態であることや、システム停止をユーザーに警告するために、そのバッテリ警告入力によって警告音をスピーカから発することもできる。

SLチップのパワーマネージメント機能については、486SLの項で詳しく触れる。

386SLC

SLCシリーズのチップは、現在のチップテクノロジーにおける、最も興味深い存在のひとつだ。IBMは、現行の386チップおよびそれらの上で走るプログラムを研究し、その結果データを用いて、IBM PS／2マシンや、サードパーティーメーカーにOEM供給するサブシステム専用のカスタムチップ、「**386SLC**」を設計した。386SLCは、Intelの

386SXとピン互換である。このチップはIBMで設計され、Intelで製造されたため、IBMとIntelとの契約に基づき、IBMで製造したコンピュータやサブシステムの中に組み入れた形でしか販売されない。

386SLCは現在、IBMのPS/2の「モデル56 SLC」および「モデル57 SLC」に標準搭載されて供給されている。またIBMは、SXベースのPS/2コンピュータについて、386SLCを使ったアップグレードオプションを提供している。IBMによれば、386SLCにアップグレードすれば、いくつかのアプリケーションで、最高88%の性能アップを実現できるそうである。

SLCチップ(実際には、IBMがほかのメーカーにこの技術をライセンス供与しているため、同じものが別の名称でも発売されている)は、多数のシステムで採用され始めたようだが、これは当然のことだろう。SLC設計はIntelのチップの良い機能を取り入れ、IBM独自の改良を加えたものなのだから。

基本的には、386SLCは386SXのキャッシュ付きローパワー版チップである("SLC"の名称はこれに由来する。つまりS=SX、L=Low、C=Cache)。SLCのチップは、8Kバイトのオンボードキャッシュ(486チップに標準装備されているキャッシュと同じもの)を組み込んでおり、また、IntelのSLシリーズチップで使われている5Vのローパワーテクノロジーを採用している。さらに、これらのチップには486SXのインストラクションセットがすべて含まれている。

バススヌーピング機能は、チップの内部キャッシュのデータと外部メモリのデータが、完全に同一であることを保証するものである。**バススヌーパー**は、キャッシュ内のデータに連動するアドレス範囲について、バスのアドレスラインを監視することで動作する。ほかのデバイスが、このアドレス範囲のどこかに書き込みを行うと、キャッシュデータとメインメモリのデータが違うという合図が送られる。この状態で、その位置のデータが要求された場合には、キャッシュに保持されている情報ではなく、メインメモリのデータを使うようにする。

386SLCには、これ以外にも改良も加えられている。IBMは、一般的なソフトウェアアプリケーションが使用する、数百万に及ぶインストラクションを分析することで、インストラクションの中でも使用頻度が高いものがあることを測定し、割り出した。SLCチップでは、これらの使用頻度の高いインストラクションの実行クロックサイクルを減らして、インストラクションの改良や最適化が行われている。つまり、使用頻度の最も高いインストラクションは、標準的な386SXや486SXチップに比べると、SLCチップのほうが処理速度が速いのだ。

IBMによれば、同じクロックスピードで動作している従来の386SXチップに比べて、386SLCチップは、オンチップキャッシュと最適化されたインストラクションセットにより、実際に約2倍の速さで動作するということである。さらに、SLCのテクノロジーで興味深い点は、1個のチップで16MHz、20MHz、25MHzの3種類のクロックで動作するように設計されていることである。たとえば、386SLC用に設計したデスクトップまたはラップトップマシンを、16MHzで動作させて周辺部品のコストを削減し、ローエンド版にすることができると同時に、そのまま同じチップを使って、25MHzで動作するフル機能装備のマシンを設計することもできるわけである。

また、SLCチップは**非同期モード**、つまり、プロセッサの内部速度が外部の部品と異なる状態で動作することができる(IntelのDX2チップのように、386SLCだけが2倍クロックとなる)。これによって設計者は、価格の安い低速度の周辺部品を使いながら、内部の処理速度を最高にすることができる。つまり、この技術によって、さほどコストを上げることなく、コンピュータ全体の性能の向上が実現できるわけである。

■386のパッケージ

386は、80286の2倍のデータラインと25%多いアドレスラインを持っているため、必然的に多くの端子が必要になる。このため、132本のピンを持つセラミックのPGAパッケージを使っている。このパッケージでは、ピンは中央から外側に

向かって大きくなる3つの正方形の形に沿って配列され、0.1インチ間隔で14×14の格子状になっている。1番ピンはケースの角が切られているコーナーに一番近いところにある。

■386の速度定格

80286のように、386チップの速度定格も、チップのモデル名の後ろに付けられている。この数字は、チップの最大動作速度定格をMHz単位で表わしたもので、たとえば、定格が25MHzのチップは、「80386－25」となる。

386系の中で、その独特な入出力構造のために、386SXだけは独特のパッケージを使用している。この場合でも、速度定格は80286や386DXと同じ方法でチップに表示されおり、チップ名の後に続く数字が、定格速度をMHzで表わしたものということになる。

486系

1989年に発表された当初は、**486マイクロプロセッサ**は386の改良版だった。Intelがこの最も強力なチップを386系に分類しているのはこのためで、486は、386用のソフトウェアはすべて走るようになっている。しかし実際には、ソフトウェアから見ると、1個のフラグ、1個の例外処理、2ページ分のテーブルのエントリビット、6個のインストラクション、そして9個の制御レジスタビットが追加された点で、386とは異なっている。この違いは大きいように思われるかもしれないが、386用に設計されたプログラムは、どれもこの違いを識別していないようだ。486のコマンドと制御は、386のスーパーセットでしかない。486は386よりも多少機能は拡張されているが、プログラムは、486チップが単に高速な386であるかのように動作する。DOSアプリケーションを走らせる場合、486の追加機能は必要なく、未使用のままである。

386と486の間のこの小さな違いは、286から386への急激な変化とは大きく異なる。286と386をソフトウェアの面で比較すると、386には新たなオペレーションモードと、286にはない高度なメモリマネージメント機能が追加されている点で、両者は性質上異なっている。一方、386と486を比べると、386の仮想86モードは、エンハンスドモードのMicrosoft WindowsやDESQview 386のような、マルチタスクのアプリケーションを走らせるときに必要になる。386チップのメモリマネージメント機能は、従来の640Kバイトのアドレッシング範囲を超えてDOSの領域を広げるための手段である。486では386が持つこれらの能力は維持されているが、これは、プログラムの互換性に影響を与える以外には何の役割もない。今後は386ベースのマシンと486ベースのマシンのどちらでも走るプログラムが求められるだろう。

ハードウェアの点で486は、ソフトウェアレベルで386と互換性が取れるように、386の重要な基本機能を保持している。両者とも3つの操作モード(リアルモード、プロテクトモード、仮想86モード)と、フル32ビットのデータバスおよびアドレスバスを持っており、これらによって、最大4Gバイトのメモリに直接アドレスできるようになっている。さらに両者とも、64Tバイトまで拡張される仮想メモリをサポートしており、また、メモリを4Kバイトのページにリマップできるメモリマネージメントユニットを内蔵している。

しかし同時に、486のハードウェアは、386あるいはそれ以前のIntelアーキテクチャのマイクロプロセッサとは、実質的に異なっているともいえる。486に加えられた変更はすべて、最終的には高速化を実現するためのものであるが、その中でも最も重要なのは、合理化されたハードウェア設計と、より密度の高いシリコン設計によって、数値演算コプロセッサを搭載できるようになったということと、メモリキャッシュを内蔵していることである。

ハードウェア設計が合理化されるということは、同じクロックスピードで動作させた場合、486は386より速く思考できるということである。したがって、33MHzの486は同じ33MHzの386より高速である。

これに矛盾を感じる人は、インストラクションの処理が1クロックごとに進んでいると誤解している。初期のほとんどのマイクロプロセッサでは、1つのインストラクションを実行するのに、数クロックサイクル必要である。必要なクロックサイ

クル数はインストラクションによって異なり、1クロックサイクルしか必要ないインストラクションもあれば、数十クロックサイクル必要なものもある。486では内部設計が改良されたため、ほとんどのインストラクションで、必要なクロックサイクルの数が削減されている。486の最も一般的なインストラクションの多くは、クロックの1カウントで実行できる。

チップの大きさは、速度にとって悩みの種である。コンピュータ回路は高速化され、今や回路の性能の限界は、光の速度である(実際、電子やホールが半導体を移動するのにかかる時間は、光の速度よりは若干遅い程度である)。信号が長距離を移動しなければならない場合、高速性にも限界が出てくる。当然、演算は信号の動きより速く行うことはできないため、移動距離を短くすることが高速性へつながる。これに対し、1枚のシリコンへより多くの機能を集積すれば、信号は外部のサポートチップまで余分な距離を移動をする必要がなくなり、顕微鏡でしか見えないような範囲内の移動に留めることができる。さらに、信号が強制的にバッファ処理されることによって必然的に生じる遅れは、集積化で避けられる。

チップ内部では、大きさはもっと重要な影響力を持っている。論理回路の要素が大きくなれば、動作するときにより多くの電力が必要になる。今日のマイクロプロセッサには、〝放熱〞という根本的な制約があるため、速度にも限界がある。これに対し、回路が小さければ必要な電力量も少なく、したがって、発熱を抑えつつ高速で動作できる。

486は、1ミクロンの設計ルールの先駆けとなった。これは、チップにエッチングされる最も細かい単位が、直径1ミクロン(100万分の1メートル)であるということだ。新しい50MHzの486は0.8ミクロン設計で、ここまで小さくなったおかげで、クロックスピードは100MHzまで速めることができる。

統計のプログラムやグラフィックスパッケージのように、数値演算を多く必要とするアプリケーションを持っている人は誰でも、数値演算コプロセッサがシステムの性能の向上に大いに役立つことを知っている。486では、必要なコプロセッサ回路(ほとんどが80387チップを完全にコピーしたものである)を、すべて同じ1枚のシリコンに組み込んでいる。コプロセッサがマイクロプロセッサに組み込まれたのは、便宜上の理由だけではない。486の内部コプロセッサは、386マイクロプロセッサと組み合わせて使用される387外部コプロセッサと比べると、同じクロック速度でも約2倍の性能を持っているのだ。

この性能の差を生み出す両者の違いは、プロセッサとコプロセッサ回路のあいだの接続が、間接か直接かということである。386用のコプロセッサのコマンドとデータは、1個のチップから別のチップへ、プリント基板上を移動しなければならず、この過程がすべての遅延の原因である。一方、486の演算処理の場合は、同じインストラクションは、チップ表面の数ミクロンの距離を移動するだけである。結果として、各駅停車の代わりに急行列車に乗ったような差が出るのである。

動作速度が速くなるのに伴い、マイクロプロセッサは、DRAM(Dynamic Random Access Memory)の低速性という欠点に苦しむようになった。いくつかのシステムでは、マイクロプロセッサは、メモリが追いつくのを待つことに、全体の3分の1以上の時間を費やしている。486では、高速なメモリキャッシュをチップ内に内蔵させることによって、メモリによる減速の影響を最小限に抑えている。

486のキャッシュは、全体で8Kバイトの大きさを、2Kバイトずつのキャッシュ4個に分けるという、**〝4ウェイセットアソシエイティブ設計〞**で構成されている。この構成によって性能は大幅に向上し、複雑なアプリケーションでは特にそれが顕著に現れる。

内部キャッシュは、**〝ライトスルー〞**技術を利用している。この技術は、メモリによる減速分を補うのではなく、キャッシュとシステムメモリに保持されている内容が一致している状態を保つためのものである。メモリからの読み出しを要求されたとき、486マイクロプロセッサは最初にキャッシュを参照し、逆に書き込みを行うときは、キャッシュとシステムメモリの両方を同時に更新する。したがって、書き込みのプロセスは、システムメモリ

の書き込みが完了するのを待つぶん遅れてしまう。

市販のメモリチップと486を組み合わせて使用する場合には、キャッシュは8Kバイトで十分だが、これで最適な組み合わせを実現できるわけではない。外部キャッシュがあれば、486チップの性能をさらに大幅に改良できる(Intelによれば、約30%性能がアップする)。外部キャッシュの技術については後述する。

486マイクロプロセッサは当初、最高速度を66MHzとして、様々な速度仕様のものがあったが、この速度定格は最終的には100MHzまで伸ばされる(後述の「486DX4」の項を参照)。チップの動作速度が速くなれば、そのクロックスピードに正比例して処理速度も速くなる。たとえば、50MHzの486は、25MHzの486の2倍の速さで演算を行い、66MHzのチップは50MHzのチップの30%増のスピードを提供できる。「486DX2／50」や「486DX2／66」といったチップは、486DX－33のソケットの多くに、そのまま差し込んでアップグレードできるように設計されている。Intelは33MHzのコンピュータに、2種類の高速チップでアップグレードできるという特徴を与えたのである。

33MHzの386システムをアップグレードできるかどうかは、そのシステムの設計に大きく依存する。DX2／66は、50MHzのチップより30%程度高速であることを思い出してほしい。アップグレードが可能な33MHzのシステムのほとんどは、50MHz用に設計されている。66MHzバージョンにそのままアップグレードできるのは、マイクロプロセッサ以外のすべての回路が、増加分のスピードを扱えるように、十分な余裕を持った設計になっている場合に限られる。さらに、Intelの設計者によれば、66MHzチップではほぼ間違いなくヒートシンクが必要なるようで、現在使用している設計にヒートシンクがない場合は、ヒートシンクを追加しなければならないだろう。

プラスの面としては、66MHzチップは外部世界との通信を33MHzのままで行っているため、現行の部品は66MHz用にしなくてもそのまま使用できるということである。ただし、このチップを発表したときにIntelは、そのほかのタイミングの違いは問題を生じるかもしれない、とただし書きを付けている。

486チップの機能をフルに発揮させた場合、486ベースのコンピュータに唯一の対抗できるのは、RISCワークステーションだけである(ただしこれについては「Pentium」の項を参照のこと)。1秒あたりの実行インストラクション数(Million of Insutructions Per Second：MIPS)でコンピュータの速度を測定した場合、486は大抵のRISCコンピュータにはけっして引けを取らない。486は33MHzで20VAX MIPS、50MHzで41VAX MIPSで、これは最高速のものを除けば、すべてのRISCエンジンと同等の値である。さらに、DOSで作業をする割合の大きい人は、486に固執したいだろう。Intelアーキテクチャの CPU以外には、DOSを走らせるチップはないからである。特殊なRISCエンジンでしか動作しない特別なアプリケーションや、進んだオペレーティングシステムの使用を予定している場合のみ、RISCの採用を検討すべきである。

486チップは速度定格が異なるだけでなく、「486DX」および「486SX」の2つのモデルがある。DXチップは最初に発表されたチップで、前述の性能を向上させる機能が組み込まれている点で、486の最上位チップと考えればよいだろう。486SXは〝486Lite〟であり、DXチップから内蔵の数値演算コプロセッサを取り除いたチップである。この違いはチップの価格に現れており、実際に購入する際には大きな問題になる。

■486SX

最初に考えられていたとおり、486SXは、486の性能が必要でも、コプロセッサは必要ない人々が求めるエンジンだった。このようなアプリケーションとして以前から注目されていたものに、たとえばネットワークサーバーがある。ネットワークサーバーで最も重要なのはレスポンスだが、データ処理の作業は単純である(ほとんどがデータを移動させるだけである)。浮動小数点の数値を高速に処理する必要はまったくない。486SXを採用すれば、必要のないコプロセッサの部分にかかる余分な費用を負担しなくても、486ファミリの高

速性能を手に入れることが可能なわけである。

DX チップの代替品として 486SX を使用する際には、完成された 486DX とまったく同じ速度仕様のチップであることが前提となるが、486SX では、20MHz と 25MHz のバージョンしか Intel から発売されていない。基本的には、486SX は 486 ラインのローエンド版であり、古い 386 系のチップに代わるものとして Intel が作ったものである。

つまり、486SX は 486DX チップの代替品ではなく、386DX の代用品と考えるのが正しい。486SX は 386DX と同じ速度仕様のものが発売されており、かつ価格には競争力がある。また、内部効率のおかげで、同じクロックスピードで走らせても、386DX より 486SX のほうが速い。Intel によれば、両者を同一のクロックスピードで走らせてテストを行うと、いくつかのテストで、486SX は 386DX の 2 倍の性能を発揮するということである。

性能以外の点（基本的にはクロックスピードと価格）で両チップがすべて同等であることを考えれば、386DX より 486SX システムを選ぶのが順当である。ただし現在では、価格が同じということはほとんどなく、たとえば、40MHz の 386DX と 20MHz の 486SX がほとんど同じ価格で、486SX システムの 2 倍のクロックスピードの 386DX が買えることもある。その場合は、386DX のほうが割安ということになる。しかしながら、この比較も使うアプリケーションに依存している。いくつかの条件が揃えば、25MHz の 486SX が 33MHz の 386DX を 40%上回る性能を発揮することが、いくつかの実験で確認されている。

また、486SX にコプロセッサがないという点も、一生引きずらねばならない欠陥ではない。Intel は 486SX ベースのシステムで使用するコプロセッサ「487SX」を発売しており、これによってシステムは完全なパワーを獲得することが可能になっている。

■ 486SL

Intel の「486SL」は、ラップトップタイプやポータブルタイプのコンピュータや、バッテリ駆動のアプリケーション用に設計された、486SX チップの低消費電力版である。このチップの初期のバージョンは、単に電源の使用を少なくする設計になっていたが、その後のバージョンは、標準の 5V 仕様ではなく、3.3V で動作する設計になっている。

さらに、SL チップはパワーマネージメント機能を内蔵しており、Intel によれば、このパワーマネージメント機能によって、標準の SX チップと比較して、バッテリの寿命を 2 倍にすることが可能ということである。パワーマネージメントシステムは、必要なときには電源を供給し、必要ないときには電源を停止するというものである。SL のパワーマネージメントテクノロジーは、たとえば、キーボードからデータが入力されているときは、内部モデムやハードドライブのような周辺装置は、電源を切ったり、スタンバイモードに移行させ、セーブコマンドが入力されると、データをセーブするためにハードドライブに電源を入れ、その後必要になるまで再び眠らせるといった方法をとっている。

一定時間キーボードなどすべてを使用しない場合、パワーマネージメントはシステム全体をスタンバイモード（Intel では〝サスペンドモード〟と呼んでいる）に移行させる。サスペンドモードでは、コンピュータにはほとんど電流は流れないため、バッテリの寿命を伸ばすことが可能だ。これ以外のサスペンドモードの利点は、ラップトップやポータブルコンピュータでも、使用していないときに電源を切る必要がないということである。サスペンドモードにすると、DOS や Windows など現在使用中のアプリケーションはロードされたままなので、再びコンピュータを使用するときには、すでに準備が整っているわけである。パワーマネージメントテクノロジーがないと、使わない時間が続いたら、電力を節約するためにコンピュータの電源をいったん切り、再び使用するときに、システムをリブートして、いちいち必要なソフトウェアを再ロードしなければならない。実はこのリブートしてソフトウェアをロードするということは、ハードディスクを回転させ、POST（Power On Self Test）を行うため、かなりの電力を必要とし、ラップトップやポータブルコンピュータでは大きな問題なのである。これに対しサスペンド機能があれば、コンピュータは眠らせておいて、必要になったら起こせばよいので、電力の節約効果は大きい。

■ 486SLC2

386SLCと同様、「**486SLC2**」はIBMバージョンの486SXチップである(SLCの詳細については、本章の386SLCチップの項を参照のこと)。386SLCと486SLC2の相違点は次のとおりである。

- 386SLCの1ミクロン設計に対し、486SLC2は0.7ミクロンのテクノロジーを使用
- 486SLC2はクロック倍化回路を搭載(IntelのDX2チップと同じ)
- 486SLC2は3.3Vのローパワー供給可能
- 486SLC2は386SLCのオンチップキャッシュを16Kに倍増

IBMは、自社の主要ラインのコンピュータのいくつかにSLCテクノロジーを採用しており、今後の設計でさらなる改良を加えることを約束している。IBMによれば、SLCの今後は、スピードアップおよびバス幅の拡張、キャッシュの拡張によって性能を向上させていく方針とのことである。同社はまた、低電圧、ローパワー仕様のものも計画しており、SLCテクノロジーを含むプロセッサアップグレード戦略に取りかかっている。

■ 倍クロック486

少数のサードパーティーのアップグレードボード(これらのほとんどはインストールが難しく、高価で、さらに既存のソフトウェアとの互換性がかならずしも十分でない)を除けば、コンピュータを高速化したり操作性を向上させるために、アップグレードする方法はまったくなかった。後続のより高速なチップが既存の設計と互換性がなかったため、使用中のCPUを取り外して、新しいCPUを接続するというわけにはいかなかった。しかし、Intelの486系チップのリリースによってそれは変わった。

最近の486ベースのマザーボードはほとんど、Intelの高速486DX2チップと互換性があるソケットを使用している。本書を書いている時点では、「**486DX2**」は50MHzと66MHzの2つのモデルが供給されている。もしマザーボードに、DX2チップにアップグレードできるように設計された回路とソケットが搭載されていれば、33MHzの486チップを取り外して、新しいDX2モデルを差し込むだけでアップグレードは完了である。DX2／50チップ搭載で66MHzにアップグレード可能なコンピュータを購入すれば、その後でIntelが100MHzのDX2チップのリリースを決定したあかつきには(本書が書かれた時点では、検討中ではあるが正式には決定されていない)、再びさらに高速なマシンにアップグレードすることが可能だ。

あるいは、169ピンの〝オーバードライブ〟ソケット、または〝パフォーマンスエンハンスメント〟ソケットを搭載したコンピュータの場合は、新しい**オーバードライブ**チップを接続することができる。486SXベースのシステムでは、このソケットは演算コプロセッサの487SX用に設計されたソケットと同じものである。オーバードライブチップは、基本的にはDX2チップのクロックダブリング回路をもつ、拡張版486マイクロプロセッサである。

オーバードライブソケットは、既存のプロセッサを取り外さずに、新しい高速CPUを追加できるというものである。オーバードライブチップをパフォーマンスエンハンスメントソケットに差し込むと、現在使用中のCPUは無効になり、新しいチップが自動的にその後を引き継いでより高速に動作する。オーバードライブチップには、演算コプロセッサ回路が含まれているだけでなく、DX2の倍速技術も使用されている。つまり、オーバードライブチップは、内部的には2倍のシステムクロックスピードで動作するが、自分以外の部分とは、それまでと変わりなく、現在のシステムスピードでやりとりしているということである。

オーバードライブチップには2つのバージョンがある。1つは16MHzまたは20MHzのシステムをアップグレードするように設計されたもので、もう1つは25MHzシステム用のバージョンである。25MHzバージョンには、高速なCPUの動作によって発生した余分な熱の消散を助けるヒートシンクが付いている。オーバードライブは、エンドユーザー自身の手によるアップグレードを可能にするために考案されたものである。既存のCPUは取り外す必要がないため、CPUがマザーボード

にはんだづけされている場合でも、ユーザーは、マザーボード上のソケットに、そのまま新しいオーバードライブチップを差し込むだけで、コンピュータをアップグレードでき、より高速でより高い性能を手に入れることができるのだ。

DX2およびオーバードライブチップは、両者ともCPUの内部処理をスピードアップしているが、外の世界とのやりとりは、そのままマザーボードの速度で行っている。たとえば、25MHzのシステムにインストールすれば、オーバードライブチップまたはDX2チップは50MHzで動作し、システムの残りの部分とは以前と変わらず25MHzでデータ交換を行う。同様に、33MHzのシステムにインストールされた66MHzのDX2チップは、33MHzで外部コンピュータと通信する。この技術は、新しい高速チップとすでにコンピュータにインストールされている既存のシステムとの互換性を、最大限に保証しなければならないという理由によるものである。

アップグレードによって、既存のシステムのままで処理速度をスピードアップすることができるが、このようにアップグレードされたシステムは、最初から50MHzや66MHzとして設計されたものほどは、速くはないということを思い出してほしい。この理由は明らかだ。50MHzチップを33MHzのシステムに接続した場合、コンピュータのメモリ、BIOS、コントローラはもとのシステムの速度で動作しており、また、CPUはシステムの自分以外の部分ともとの速度でやりとりしているからである。

一方、完全な50MHzまたは66MHzのシステムでは、メモリはもちろんのこと、プロセッサと同じ速度仕様の部品が搭載されているが、最終的なスループット速度はアプリケーション次第とはいえ、基本的にはこれらの部品によって、速度に違いがでることを知っておかなければならない。しかし同時に、アプリケーションがI/Oよりも演算中心である場合は特に、25MHzのシステムに搭載した50MHzチップは、顕著な性能の改良を実現するだろう。

■ 486のパッケージ

386チップと同様に、486プロセッサのパッケージは、168ピンのグリッド配列で、高速なチップ(特に25MHz以上で動作するもの)は、通常ヒートシンクを付けて冷却を促進している。

Pentium(586)ファミリー

本書の原書が出版された当時、Intelは、486の後継チップの最終試験を行う段階にあった。公式な情報はリリースされていなかったが、240ピンの拡張ソケットまたはオーバードライブソケットを搭載したハイエンドパーソナルコンピュータが、いくつかのメーカーで開発されていると同時に、Intelでは当時「P5」というコードネームで呼ばれていたチップの開発に着手していた。P5チップは240ピンの仕様で、240ピンのソケットを搭載した486パーソナルコンピュータなら、Pentiumにアップグレードできることになる。

Intelは、出荷前にチップの供給量を多量に確保したいという基本的な理由から、当初の出荷予定を1993年初めまで遅らせた。

さらにIntelは、この新シリーズの名称の変更について、社内で検討を進めていた。このシリーズを「586」(現在の486ラインの次のチップという意味を表わしている)と呼ぶ代わりに、名称の中にいくつかの文字が入ったもの、あるいは全部を文字にしたものを検討していた。これは、チップの名称を自社独自のものとして、競合会社が同じ名称を使用できないように保護するためである。その結果、このチップの新しい名称は「Pentium」と決定された。これは、〝586〟の〝5〟を表わすギリシャ語の〝*pente*〟から作られた名前である。しかし、Intelが新しいチップにどのよう名前を付けても、この業界のエンドユーザーや開発者を含むかなりの部分は、出荷以降もある程度の期間は、恐らくこのチップを〝586〟と呼ぶだろう。

Pentiumとは一体どんなものだろうか。まず第一に、このチップは64ビットのマイクロプロセッサで、内部キャッシュの容量は486チップ以上である。Pentiumチップでは、486CPUのオンチップキャッシュを倍増し、インストラクションとデータ用にそれぞれ独立した8Kバイト、合計16Kバイトのキャッシュが搭載されている。このキャッシュメモリは、486の〝ライトスルー〟方式とは異なり、

データ書き込み時の効率がより高い〝ライトバック〟方式を採用している。

データバスは64ビットに倍増されているが、レジスタ長や、アドレスバスは486と同じく32ビットのままである。また、インストラクションセットも486の上位互換で、追加された命令はほとんどない。しかし、内部のアーキテクチャが大幅に変わっており、1クロックサイクルで、最高2つのインストラクションを同時に実行できる〝スーパースカラー〟技術を採用したことで、同一クロックの486DXに比べて約2倍の処理速度を達成している。

チップサイズは約16ミリ四方と大きく、0.8ミクロン設計で、約310万個相当のトランジスタで構成される。最初に発表されたPentiumには、60MHzと66MHzで動作する2つのバージョンがあり、約100MIPSの処理能力を有している。Intelは、1994年春には、早くも、Pentiumの次期バージョンを発表した。90MHz、100MHzで動作する2種類のチップで、省電力機能のSLエンハンスメント機能を備え、動作電圧も5Vから3.3Vへ引き下げられた。この新しいPentiumチップは、0.6ミクロンの設計が使われており、消費電力も大幅に削減されている。

486ベースのコンピュータを持っているユーザーへの朗報は、Pentiumの下位バージョンとして、内部のアーキテクチャが64ビットで、486互換の32ビット外部バス仕様のチップ「P24T」が設計されているということだ。この場合のアップグレードは、486CPUを取り外して、P24Tチップをアダプタボードに接続するか、Pentiumのソフトウェアが走り、かつ既存の486ハードウェアと互換の、縮小版Pentiumチップを搭載する方法が考えられる。また、いくつかの486コンピュータでは、すでに装備されているパフォーマンスエンハスメントソケットに、P24T対応のソケット(240ピンPGAソケット)を搭載しているものもある。

Intelでは、さらに、150MHzのPentiumや、後述の「486DX4」をPentiumにアップグレードするオーバードライブプロセッサの発売も予定している。

DX4

486ファミリーを強化するマイクロプロセッサとして、Intelは1994年春に、「DX4」を発表した。このチップは、登場が噂されていた時点で「486DX3」と呼ばれていたチップで、Pentiumの例に倣って、Intelは、チップの正式名称から「486」という数字の列を廃止した。

486DX2が、外部クロックの2倍の内部クロックで動作していたのに対して、DX4は外部クロックの最高3倍の内部クロックで動作する、486DXの高速バージョンである。当初の予想に反して、DX4は、従来の486DXの5V動作ではなく、0.6ミクロン設計で3.3V動作の構成で登場した。このため、DX4は486DXとのピン互換ではない。

DX4には、外部クロックの周波数と内部クロックの周波数に応じて、次のようなバージョンに分けられる。

- 内部クロック100MHz、外部クロック50MHz(2倍動作)または33MHz(3倍動作)
- 内部クロック83MHz、外部クロック33MHz(2.5倍動作)
- 内部クロック75MHz、外部クロック25MHz(3倍動作)

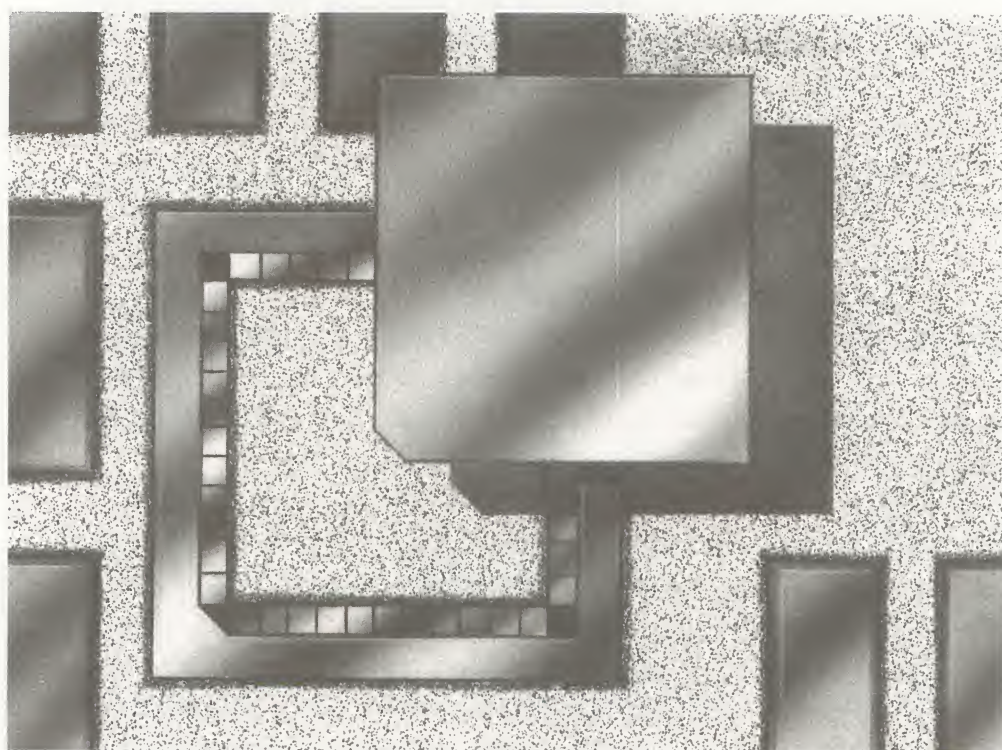
DX4で強化されたのは、内部クロック周波数だけではない。Pentiumと同様に、オンチップのキャッシュメモリが、486DXの2倍の16Kバイトに増やされているのである。ただし、このキャッシュメモリの方式は、486DXと同じ〝ライトスルー〟方式である。キャッシュメモリを増やしたことにより、DX4は同一外部クロック(33MHz)の486DXに比べて、50%の性能向上が達成された。

前述のとおり、DX4は3.3Vで動作するため、既存の486DXを使用するマザーボードとは互換性がない。しかし、電圧を変換する特殊な〝ドータボード〟を使うことで、486DXのマザーボードにDX4を搭載することが可能になる。このようなドータボードは、すでにいくつかのメーカーから発売されているようだ。ただし、すべての486DXマザーボードでこのドータボードが動作するかどうかは疑問である。将来Intelから、5Vで動作す

るDX4アップグレードがリリースされる可能性はあるが、ドータボードの形式になるのか、同一パッケージに電圧変換器を含めたものになるかは、現時点では分からない。

いずれにせよ、従来のIntelの実績を考えれば、486のパーソナルコンピュータユーザーへのDX4アップグレードの道が開かれることは、間違いないだろう。

第4章

数値演算コプロセッサ

ほとんどのマイクロプロセッサは、様々な論理演算を行うように設計されている、〝汎用プロセッサ〟である。これに、**数値演算コプロセッサ**と呼ばれる特別なチップを追加すると、パーソナルコンピュータで実行される複雑な数値演算を、100倍近く高速化することができる。Intelの初期のマイクロプロセッサには、それぞれ専用の数値演算コプロセッサがあったが、最近では、コプロセッサ機能はマイクロプロセッサのチップ上に統合されており、独立したコプロセッサは時代遅れのものになっている。

最初のマイクロプロセッサは、電卓用に設計されたものだが、このプロセッサにしても、その次の世代のプロセッサにしても、複雑な数値演算を高速で実行するようには設計されていなかった。そもそも、これらのマイクロプロセッサは、多くの機能を処理する設計になっており、複雑な数値演算はなおざりにされていた。これは、複雑な数値演算を行わなくても、すべての数値演算は、最終的には簡単な加算に還元できるからだ。たとえば、乗算は無数の加算を繰り返し、減算は加算の逆を行い、除算は割る数を逆数にして乗算を行えばよい。三角関数や平方根のような極めて複雑な数値演算でも、同様に加算の変形で実現できる。要するに、その気になれば、「レゴ」で1マイルの高さのビルでも建てられるのと同じだ。しかし、それを実践するのは不可能である。問題は、費やされる時間だ。10億個ものブロックを積み上げるには、我々が一生かかっても足りないほどの時間がかかるだろう。同様に、マイクロプロセッサの場合も、100万回の加算を使って乗算を行うには、100万個以上のステップが必要になる。マイクロプロセッサの速度をもってしても、各ステップの実行に相応の時間がかかることを考えれば、年老いて髪の毛が白くなるまで待つことはないにせよ、実際にそういう気分になっても不思議はない。

ほとんどのマイクロプロセッサは、数値演算の速度を上げるために、インストラクションのレパートリーに、加算以外の簡単な演算を組み入れている。しかし、あらゆる演算命令がすべて揃っているものは、ほとんどない。めったに使われないような演算が多すぎるため、それらをすべて組み入れるために、設計作業に余分な手間を掛けたり、シリコンの製造工程を複雑にする意味はないのである。このため、汎用マイクロプロセッサでは、複雑な数値演算の速度は、無視できないほど低下してしまう。

コプロセッサは、演算の高速化のために、マイクロプロセッサと一緒になって動作する、特別な集積回路である。なかでも、最もよく知られているのは、汎用マイクロプロセッサでは、そのコマンドセットから省かれている高度な数値演算を、高速に実行するように設計された数値演算コプロセッサである。ほかにも、特定の機能(たとえば、ディスプレイ画面への画像の表示など)を処理するのに最適化されたコプロセッサもある。コプロセッサは、特定の目的に合わせて設計されているため、普通の汎用マイクロプロセッサの何倍も速く、特定の機能を処理できる。コプロセッサは、マイクロプロセッサが苦手とする仕事の負担を軽減しているのだ。

このコンセプトは、マイクロプロセッサの処理能力に奇跡をもたらすかのように聞こえるが、数値演算コプロセッサによる恩恵は、パーソナルコンピュータの種類や、行う仕事の内容によって異なる。ある数値演算コプロセッサは、計算を劇的に加速することができるが、それは特定の計算に限られている。コプロセッサチップが、ごみ処理場の破砕機のように、

数値を"ばりばり"と処理できるとはいっても、パーソナルコンピュータを使用する作業のほとんどは、数値演算コプロセッサを使っても改善されない場合もあるのだ。これは、数値処理を多用する簿記処理などでも起こりうることである。

数値演算コプロセッサの市場に、様々なコプロセッサが次々と投入され、競争が激しくなるのと同時に、一方では、消えてゆく製品も多いという事実は、矛盾した話ではない。かつては、コプロセッサを選択しようにも、自分が使っているマシンで動くチップは1つに限られていたが、現在では、Cyrix Corporation、Integrated Information Techonology、Intel Corporation、ULSI、Weitek Corporation など、様々なベンダーのチップの中から選択することができる。今日では、ほとんどすべてのパーソナルコンピュータが、コプロセッサソケットを標準で備えているが、これらのベンダーは、このソケットに差し込むコプロセッサチップを供給している(もしくは、していた)。

これに対し Intel Corporation は、旨味の多いコプロセッサ市場から競争相手を排除するために、コプロセッサが将来的に必要になるか否かを予測不可能にするだけではなく、コプロセッサチップの必要性すらを完全になくす、という新しい戦略を立てた。Intel は、最初に(486 を導入することによって)コプロセッサを事実上時代遅れの存在にし、その後(486SX とその数値演算コプロセッサによって)また復活させ、そして(OverDrive アップグレードチップによって)再度その状態を無効にしたのである。

一方、コプロセッサチップが使えるコンピュータであっても、それを搭載することによって、かならずしも確実に性能が大きく向上するわけではない。そうならない場合もある。誰の言うことを信じ、どのソフトウェアを使っているかによって、できる、できないの判断は変わってくる。たとえば、数値演算コプロセッサメーカーが作ったベンチマークテストによれば、コプロセッサを搭載することによって、最高 100 倍まで性能を向上できるという結果が示されるが、実際、ほとんどのアプリケーションでは、数値演算コプロセッサから得られる恩恵は、ぼんやりとしか見えない Kahoutek 彗星のように捉えどころのないものである。普段使うプログラムのほとんどは速くならないし、また、多くのビジネスマンにとって、パーソナルコンピュータの使用目的である、大量の数字の処理(スプレッドシート上での計算)でさえ、数値演算コプロセッサを使うことによる恩恵はほとんど現われない。統計、工学設計、グラフィックスなどのような、多数の計算を必要とする厄介な仕事に限れば、数値演算コプロセッサは確かに有効だが、それでも、それがもたらす性能向上の可能性は、チップメーカーの言う 100 倍などにはほど遠い。

これについて、数値演算コプロセッサが過大評価されているとか、役立たずであるとまではいえない。コプロセッサが有効な性質の仕事を抱えている場合なら、これほど少ない出費で性能を向上できる手段はないからである。今日では、基本的にコプロセッサはもはや必要とされていないが、(追加のチップにお金を払う必要があることを除けば)あっても何の不都合もないし、ハイエンドマシン市場においては、本来なくてはならないものである。現在、自分のコンピュータにコプロセッサがない人は、そのシステムにコプロセッサを追加するか、もしくはより高性能なシステムに移行するかのいずれかの形で、結局はコプロセッサを使うことになるだろう。

4.1　基本原理

コプロセッサのコンセプトは単純である。コプロセッサは、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサと一組になって動作するだけである。目標とするところは、「専門化」と「分業」によって得られる性能の向上で、小規模な産業革命の電子版といえよう。通常は汎用マイクロプロセッサに任せられている特定のタスクを、コプロセッサが担当することによって分業が行われ、これによって、メインチップから若干の負荷が軽減される。それに加えて、コプロセッサは１つの特定のタスクを、可能な限り最大の効率で処理するように設計された〝スペシャリスト〟であり、すべてのソフトウェアのニーズを満たすことを諦める代わりに、専門のタスクを最も効率的に実行できるように、必要最小限な形にまでシェイプアップされているのである。

要するに、コプロセッサはマイクロプロセッサでありながら、汎用マイクロプロセッサとは異なり、特殊用途向けのデバイスなどのように、ある特定の機能に専念するプロセッサである。マイクロプロセッサに比べて、インストラクションのレパートリーがある程度限定されているため、コプロセッサは、自分の最も得意な分野の作業に専念することができるのだ。

マイクロプロセッサの一種であるコプロセッサは、ほかのすべてのマイクロプロセッサと同じように動作する。つまり、一連のインストラクションからなるプログラムを実行するだけである。しかし、メインのマイクロプロセッサとは異なり、直接マシンを制御することはできない。代わりに、動作に必要なプログラムインストラクションを送り、その結果を受け取ってくれる、メインのマイクロプロセッサにすがっているのだ。

通常の動作では、マイクロプロセッサが、コンピュータを動かすすべての機能を取り扱っているが、コプロセッサが処理するのに最適なタスクに出会うと、マイクロプロセッサは、データとインストラクションをコプロセッサに渡し、答えを辛抱強く待つ。

コプロセッサは、メインのマイクロプロセッサとは別の、専用のインストラクションセットを持っている。したがって、プログラムはコプロセッサを使用するように、特別に書かれたものでなければならない。コプロセッサに作業を行わせたい場合には、特別なコプロセッサインストラクションが必要なのである。コプロセッサを使うように書かれていないプログラムでは、コプロセッサがあっても利用することはできない。

繰り返しになるが、コプロセッサは、それ単体ではコンピュータの性能を向上させることはできない。コプロセッサの速度や性能を利用するためには、コプロセッサインストラクションを組み込んで特別に書かれたプログラムが必要になる。コプロセッサを使うプログラムは、しばしば何倍もの速さで実行でき、その場合、「PC」から「AT」または「PS／2」に移行した場合と同程度のスピードの向上をもたらす。

コプロセッサは難しい問題が現れたからといって、自動的にそれを処理するわけではない。さらに、アプリケーションは、数値演算コプロセッサを使用するように書かれている必要があるだけでなく、特定のコプロセッサに適合していなければならない。アプリケーションが、使用するコプロセッサに適応したコプロセッサインストラクションを使っていなければ、数値演算コプロセッサは機能しない。

あるプログラムの実行時に、コプロセッサが有効に動作しているかどうかを確認するには、そのプログラムのメーカーが主張しているとおりの効果が、コプロセッサを使ったときの性能に表われているかどうかを調べるしかない。コプロセッサチップの有無による性能を違いを比較する以外に、コプロセッサが動作していることを簡単に確認する方法はない。

コプロセッサの仲間には、様々な目的に合わせてに設計されたものがあるが、その中で最もよく

知られているのは、本章の主題でもある**マス・コプロセッサ**(Math-Coprocessor)である。これは、**数値演算コプロセッサ**とか、**浮動小数点演算ユニット**(FPU)とも呼ばれ、その名が示すように、数の操作を専門にしたコプロセッサである。多数桁の割り算、三角関数、平方根、対数など、高校生のときには悪夢とも思えた、あの複雑な関数を処理するように設計されている。これらの演算によって浮動小数点数が発生するが、これこそ、数値演算コプロセッサが処理するのを得意とする数値である。

浮動小数点とは、整数、有理数、実数などのような数学的に定義された数ではなく、値の表わし方を説明したものである。浮動小数点数において、小数点は、米国の通貨の単位(ドル)に2桁の小数(セント)があるような、固定したものではなく、事前に定義されている有効桁数の間を「浮動する」という基本性質がある。

数学的にいえば、浮動小数点数は3つの部分で構成されている。1つは**符号**で、これはある数がゼロより大きいか小さいかを示している。もう1つは、数学的に意味を持つすべての数字からなる**有効数字**(**仮数**と呼ばれることもある)である。そしてもう1つは、有効数字の大きさを規定する**指数**で、基本的には小数点が浮動する位置を表わしている。

浮動小数点数は、科学的な表記法で書かれた数値と同じように考えればよい。科学者は一般に10進数(科学的表記法における指数は、10の累乗である)を使うが、数値演算コプロセッサは、浮動小数点数を2進数(2の累乗を0と1だけで表わす)の形で処理する。浮動小数点数を使った複雑な数値演算を実行する場合でも、数値演算コプロセッサは、汎用マイクロプロセッサと同じように動作している。つまり、デジタル論理を使い、インストラクションを表わすビットパターンに従って、情報を表わすビットパターン(浮動小数点数)を処理するのである。こうした演算は、コプロセッサ内部の特別な記憶装置であるレジスタで行われる。

演算を行うにあたって、数値演算コプロセッサは、まず、操作対象である数の1つをレジスタにロードし、次に2番目の数を別のレジスタにロードする。続いて、2つの数にどんな演算を行うかを、チップに指示するインストラクションを読み込む。読み込んだインストラクションによって、コプロセッサのチップ内で別の小さなプログラムが実行され、そのプログラムによって、コプロセッサの回路は要求された答えを実際に算出する。与えられたインストラクションの種類に応じて起動される、数値演算コプロセッサ内部のプログラムセットは、**マイクロコード**と呼ばれている。

結果が算出された後、コプロセッサから答えを取り出すには、別のインストラクションを実行しなければならない。また、そのインストラクションによって、以前の結果を使って、べつの演算を数値演算コプロセッサに行わせる場合もある。

値のロード、インストラクションの読み込み、マイクロコードの実行というように、汎用マイクロプロセッサも、これとまったく同じように動作している。このため、数値演算コプロセッサは、特定のコマンドを高速に実行することで、浮動小数点数の処理速度の高速化をもたらす存在であるといえる。実際に、汎用マイクロプロセッサが理解する基本コマンドは、効率よく処理されている。数値演算コプロセッサのほとんど(すべてではない)は、これらの頻繁に実行される動作を合理化するのではなく、一連の長いステップを必要とする、複雑な演算に専念するのだ。コプロセッサは、すべてのステップを、高速に計算できる1つの演算にまとめることによって、数値の取り扱いにおいて、マイクロプロセッサを凌ぐ力を持っている。たとえば、汎用マイクロプロセッサに無理数の平方根計算を行わせた場合、答えを得るまで簡単なインストラクションループを何百回も実行し、何百回も整数演算を行う必要がある。これに対してコプロセッサは、同じ問題をたった1つのインストラクションで解けるのである。

数値演算コプロセッサが扱っている複雑な数値演算の命令を、すべてマイクロプロセッサに実行させるように設計することは、もちろん可能だ。Intelの486マイクロプロセッサは、まさにこのような設計を行ったもので、プログラムには1個の存在として認識されるが、内部では、汎用プロセッサと浮動小数点演算ユニットの、2つの部分に分か

れている。コプロセッサが別個の要素として存在しているのは、浮動小数点数計算の標準化の歴史と、集積回路のテクノロジーの歴史に関係がある。

4.2 アドレス指定

コプロセッサは、メインのマイクロプロセッサとの共同作業を適切に行えるように、データを共用しなければならない。何らかの方法を使って、マイクロプロセッサは浮動小数点の問題をコプロセッサに渡し、コプロセッサはその答えをマイクロプロセッサに戻さなければならない。通信手段だけを考えれば、速達郵便からテレパシーまで、多種多様の選択肢があることは確かだが、現実的には2つの選択肢しかない。データが送受される入出力ポートを直接接続するか、メモリを介して、マイクロプロセッサと、データやインストラクションを交換するかのどちらかである。

前者の方式によるコプロセッサは、一般に**I/Oマップコプロセッサ**と呼ばれ、後者は**メモリマップコプロセッサ**と呼ばれている。2つのコプロセッサ設計の動作方法は、基本的に異なるため、プログラムコードは、それぞれの技術を使うように、別々に書かなければならない。Cyrixの「EMC87」だけは、I/Oマップとメモリマップの2つの動作モードを持っているが、それ以外のほとんどのコプロセッサは、どちらかの方法で動作している。

I/Oマップコプロセッサ

I/Oマップ式設計では、マイクロプロセッサもコプロセッサも、パーソナルコンピュータの情報（プログラムインストラクションと対象データ）を運ぶデータラインに接続されている。通常、ほとんどのコンピュータプログラムでは、メインのマイクロプロセッサが、ほとんどすべてのインストラクションを実行するが、特定のインストラクションに限って、数値演算コプロセッサが直接実行するようになっている。

ある意味で、I/Oマップ設計の数値演算コプロセッサは、マイクロプロセッサに食い付いて生きる蛭のようなものといえる。情報を見つけるための、アドレスラインを制御する回路を持っているのは、マイクロプロセッサだけであり、したがって、コプロセッサを適切に動作させるためには、マイクロプロセッサの動作に、コプロセッサを協調させる必要がある。2つのチップの動きは、ハードウェアによる直接接続（2つのチップを接続する配線）によって調整され、入出力ポートによって電気的に制御される。これらのポートは、それぞれのチップに内蔵されており、パーソナルコンピュータの周辺機器が使用するI/Oポートとは違って、ユーザーが直接アクセスすることはできない。

マイクロプロセッサもコプロセッサも、各自のレジスタ（ここですべての計算が行われる）と内部制御回路を持っている。それゆえ、2つのチップは相互に独立し、また同時に動作することができる。したがって、数値演算コプロセッサがある難しい問題と取り組んでいる間でも、マイクロプロセッサは別の作業を行うことができる。

理論的には、この設計によって、パーソナルコンピュータに、ある程度の並列処理の機能が加えられたことになるが、実際にはほとんど並列処理は行われていない。大抵のプログラムは、答えを算出するにあたって、数値演算コプロセッサを疾走させ、結果が出るまでの間は、マイクロプロセッサの方は待機するように書かれている。並列処理機能を利用しているのは、ごく少数のプログラムだけである。

メモリマップコプロセッサ

メモリマップコプロセッサは、プログラムやマイクロプロセッサとやりとりするために、メモリアドレスの一部をデータの置き場として使用する。システムのRAMの広大な領域の中のごく一部（一

般に4Kバイトページ）のアドレス範囲（386ベースのコンピュータの多くが物理メモリとして使用する、16Mバイトの範囲よりも十分に上位だが、マイクロプロセッサの4Gバイトのアドレス可能範囲内）が、このやりとりのために確保される。マイクロプロセッサは、コプロセッサに実行させたいインストラクションを、このアドレス内のある部分に書き込み、処理させたいデータを別のアドレスに書き込む。コプロセッサからの結果も、同様の方法でマイクロプロセッサに伝えられる。実際には、これらのアドレスロケーションにはRAMチップは割り当てられておらず、コマンドやデータを保持するメモリは、コプロセッサの回路の一部として組み込まれている。

メモリマップ設計では、コプロセッサチップが、マイクロプロセッサが使用しているアドレスラインへアクセスできることが前提になっている。これに対し、I／Oマップコプロセッサは、このようなアドレスの情報を必要としないため、I／Oマップチップ用に設計されたコプロセッサソケットには、アドレスラインは存在しない。メモリマップコプロセッサの場合は、アクセスする必要のあるアドレスラインを、すべて収容できるだけのピン数を持つ、大きなソケットが必要である。メモリマップコプロセッサ用の特別なソケットは、拡張数値演算コプロセッサ（Extended Math Coprocessor）インターフェイスを使用することから、EMCソケットと呼ばれている。

メモリマップコプロセッサは、アドレスデコードロジックが余分に必要なため、基本的には、I／Oマップチップよりも複雑である。したがって、設計、製造も難しく、同等の（そのようなものが仮にあるとしてだが）I／Oマップチップより一般に高くつく。

理論的には、メモリを介したコマンドやデータの交換は、I／O経由による交換よりも高速なため、メモリマップコプロセッサは、I／Oマップチップよりも高速に動作する。I／Oマップチップでは、ひとつひとつが複数のクロックサイクルを要するいくつかの動作で、インストラクションやデータを移動しなければならないのに対し、メモリマップチップでは、1回の動作ですべてのデータやインストラクションを転送できるからだ。マイクロプロセッサとコプロセッサの間で、データやアドレス情報を移動させるとき、両者でアドレスラインとデータラインを共有できるため、メモリマップコプロセッサは事実上、32ビットマイクロプロセッサとの間に、64ビットのリンクを持っている（マルチプレックスデータ転送により、32ビットのマイクロチャネルマシンが、64ビットのデータパスを持てるのと同じ）。さらに、情報がメモリ領域にロードされた後は、メモリマップコプロセッサは単独で動作する。これに対し、I／Oマップコプロセッサの場合は、動作の手掛りになるものがもっと必要である。メインのマイクロプロセッサは、最初にコプロセッサのインストラクションを読み込み、次にデータを適切なポートに書き込んでコプロセッサに与えてやらなければならない。

メモリマップコプロセッサの大きな欠点は、インターフェイスが標準化されていないことだ。メモリマップコプロセッサは、それぞれが専用のコマンドを持っており、独自のアドレス領域を使っている。メモリマップコプロセッサを使用するためには、プログラムはこれらの秘密を知っていなければならない。このため、メモリマップ数値演算コプロセッサは、自分自身に適合しているアプリケーションでなければ使用できないが、対応しているプログラムは少ないのが実情である。

4.3 Intelアーキテクチャ

Intel Corporationと、Intel互換を目標としているメーカーが製造したすべてのコプロセッサ(つまり、8088から486SXまでのIntelマイクロプロセッサで動作するように設計されているチップ)は、多くの共通点を持っている。すべてがI/Oマップ設計を使用している点もその1つであるが、もっと重要なのは、どのチップも、IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineering)の浮動小数点数仕様に準拠して、80ビットのレジスタを使って動作する点である。この点で、コプロセッサは、8ビット、16ビット、32ビット、64ビットのレジスタしか持たないマイクロプロセッサを陵駕している。

レジスタのサイズが、8、16、32、64ビットと、2の累乗で増えていくコンピュータの世界では、80ビットという数字は、いささか中途半端な感じがするが、64ビットで有効数字(仮数)を、15ビットで指数を、残りの1ビットで符号を保持できるため、レジスタとしてはまさに適当なサイズである。

ただし、Intelのコプロセッサ(および最新のマイクロプロセッサに組み込まれているコプロセッサ回路)のレジスタは、この単一なデータフォーマットに限定されていない。Intelのコプロセッサは、32、64、80ビットの各浮動小数点数、32、64ビットの整数、そして、18ビットの2進化10進数(BCD)を計算することができる(2進化10進数は、特別な4ビットデジタルコードを使って、10進数の0～9までの各桁の数を表現しているにすぎない)。

Intelのコプロセッサチップは、演算に使われる80ビット長のレジスタを8つ持っている。プログラムのインストラクションは、数値演算コプロセッサに、どのようなフォーマットの数をどのように扱うかを知らせる。実際の違いは、計算が完了したときに、数値演算コプロセッサが、マイクロプロセッサに結果を渡すときの形式だけである。バイト単位でレジスタを切り分けて操作できる、Intelのマイクロプロセッサとは異なり、コプロセッサでは、すべての計算は、レジスタの80ビットすべてを使って行われる。

Intelのコプロセッサにおける8つの80ビットレジスタは、アドレス指定の方式がマイクロプロセッサとは異なっている。マイクロプロセッサのレジスタを操作する個々のコマンドは、あたかもスイッチボードから送られてきたかのように、適切なレジスタに直接つなげられる。コプロセッサのレジスタは、スタック(一種のエレベータシステムのようなもの)に配列されている。値はスタックに送り出されるが、スタックでは新しい数が送られてくるたびに、古い数のレベルが1つ下がる。スタックマシンは、一般に貧弱なマシンと見なされているが、その設計は簡素かつ合理的であり、それが動作の高速化に役立っている。

4.4 数値演算の歴史

1970年代の中ごろ、現在知られているような数値演算コプロセッサは存在しなかった。いや、マイクロプロセッサすら存在していなかった。コンピュータといえば、メインフレームとミニコンピュータだけで、これらは浮動小数点数演算だけを行っていた。しかし、何とも奇妙なことに、複雑な計算を試してみると、世界のコンピュータはすべて違った答えを出した。2と2を加えるとか、任意の数の引き算ではこのような問題は出ないのだが、無理数を計算させ、無限桁の手に負えない数値を、格納したり表記したりするのに都合のよいように丸めた場合に、使用しているコンピュー

タのメーカーやモデルによって、最後の数桁の小数が異なるのである。

もちろん、この問題の核心は、現在の数系では、無理数は有限の桁数によって近似することしかできないということにある。これに対し、すべてのコンピュータおよびソフトウェア設計者は、それぞれが自分の好きな方法で(2進、8進、10進など最も手頃な基数を使い、いずれかの桁の小数を切り捨てたり切り上げたりする)、この無理数の不合理性に対処していたのである。

当然のことながら、特に科学者にとっては、自分の計算結果がコンピュータによって変ってしまうことは問題である。彼らが、無理数の計算結果に手を焼いて、理性を無くしてしまう前に、IEEEは、浮動小数点数計算の基準を作成するために、産業委員会を組織した。このように、科学者やエンジニアが、数に対して合理的にアプローチしようとしているときに、Intelは、自社のマイクロプロセッサの設計に、非合理的なアプローチを採用していた。すでに、その方法によって8080と8085チップは世に送り出され、同じ方法で後継チップの開発も進行していたのである。Intelは、不合理性に対処するために、次世代チップの開発の一環として、IEEE浮動小数点数規格に準拠したハードウェア設計を行うことを決定した。その新しいマイクロプロセッサは、IBM PCの基礎となった8088のすぐ前のチップである8086として誕生した。

この決定は、パーソナルコンピュータのプログラムを高速で走らせるということには、ほとんど関係ない。また、当時デスクトップマシンを使っていたのは、ごく少数のマニアだけだった。しかしIntelは、先進的な浮動小数点数計算機能について、ロボットや数値制御を要する用途に役に立つものとの見通しを持っており、マイクロプロセッサの最も将来性ある市場の1つと見なしていた。

マーケティングの点から見て、優れた浮動小数点数機能を備えたマイクロプロセッサは得策のように思われたが、集積回路の技術の制限により、その公算ははずれてしまった。1978年に発表された8086の数年間の開発期間には、集積回路を作ることは現在よりもずっと希で珍しい作業であった。テクノロジーはまだ未熟で、シリコンウェハー上にエッチングできる部品の数とサイズによって、実現可能な(少なくとも適当な価格の)集積回路の複雑さは制限されていた。そして当時、マイクロプロセッサは、それまでに設計された回路の中で最も複雑なものであった。

チップが大きくなるに従い、チップを使用不可能にする欠陥が含まれる確率は高くなった(現在でもそうである)。その一方で、当時の未熟なテクノロジーでは、チップの設計ルールに限界があった。レイアウトが小さすぎると、製造上の欠陥に悩まなければならない確率がそれだけ高くなり、使用できないチップが作られる可能性も高くなるのだ。たとえば、8086マイクロプロセッサで可能な最小の細部寸法は、5～10ミクロンであった(現在では、幅が当時の1/10の設計ルールで作られているチップもある)。8086はこれらの制限の壁にぶつかった。まぎれもなく、チップをより複雑にするためには、デジタル制御の電子フライス盤の市場の発展を待たねばならなかった。

そして、実際には浮動小数点機能は必要とされていなかった。ほかのチップは、専用浮動小数点演算ユニットなしで済ませていた。当時の初歩的なデスクトップコンピュータで一般的だった8086やZ80チップにも、コプロセッサはなかったし、電卓の心臓部として設計された4004でさえ、高度な浮動小数点演算機能は持っていなかった。当時のほとんどのコンピュータアプリケーションは、IEEE規格の浮動小数点演算プロセッサなどは必要としていなかったのだ。

8087

これらの、合理的ではないにしても、きわめて実際的な問題の結果として、Intelは、8086チップに先進的な演算機能を組み込まないことに決めた。その代わりに、とても有用で市場性のある演算機能を、別の部品に任せることにした。これが、1980年に市販用として生産された「8087」数値演算コプロセッサである。

8086の発表から、そのコプロセッサの市場投入までの2年間のタイムラグは、市場の問題というより、技術的問題から生じたものである。8087は単に設計が難しかったのだ。Intelによれば、発表

当時、8087はそれまで生産された中で、最も複雑な大規模集積回路であったということだ。

その複雑さにもかかわらず、8087は単体で動作するものではなく、きわめて強い共生関係を持った8086との組み合わせでのみ機能した。8087の複雑すぎる回路を簡単にするために、チップのエンジニアは、8086に組み込まれているインターフェイス制御回路を利用した。メインのマイクロプロセッサは、メモリ上のすべてのプログラムインストラクションを読み書きし、数値演算コプロセッサのインストラクションを見つけると、それをそのまま8087に渡す。また8086は、8087にどのデータを扱う必要があるか教えるが、8087は必要なデータにアクセスするための、専用のバスコネクションを持っている。8087が答えを算出すると、その結果を8086に戻し、8086マイクロプロセッサは、プログラムに結果を戻すことができるのである。

このように、浮動小数点数演算機能を2つのチップで実現する方法には、1つの大きな利点がある。それは、8087は、チップの設計をやり直さなくても、ほかのマイクロプロセッサと組み合わせて使用できるということである。Intelは賢明にも、8087を8086以降のマイクロプロセッサファミリー全体で利用できるように構成した。この中には、80186や80188ばかりでなく、PCやXTに使用されている8088も含まれる。

8087は、40ピンDIPソケットに差し込むようになっている。このソケットには、差し込まれたチップに、対応するマイクロプロセッサと同じアドレッシング能力やデータ処理能力を提供する。チップは、16ビットバスからデータを受け取ることができるが、8088の8ビットバスでも、回路の修正なしで動作する。バス幅に応じて自動的に調整されるのである。8087は、組み合わされたマイクロプロセッサと同じクロック信号を共用しており、同じ速度で動作する。

8087には、速度の異なる3つのバージョンがある。オリジナルの8087は、最高5MHzのシステムクロックで動作するように設計されている。「8087−2」は最高8MHzで、「8087−1」は最高10MHzで動作する。

速度以外には、これらのチップの間にはほとんど違いはない。同じコマンドを理解し、同じソフトウェアが走る。3つの中でより高速なチップを、より高速なコンピュータで動作させれば、ほかよりも高速に結果を出すだけである。高速な8087は、その定格よりも遅いクロック速度で動作するが、そのような使い方をする意味はない。システムクロックの速度によってチップの演算速度が決まるのであり、チップの定格は、チップがどの速度のシステムで動作するかの上限を規定しているだけである。

すべてのIBM PC、XT、8086ベースのPS／2、そしてその互換機のほとんどは、8087が差し込めるように設計されたソケットを装備している。IBM PCやXTラインのマシンは、8087−1に対応している。PS／2や高速（いわゆる「Turbo XT」）互換機は、一般に8087−2が必要である。**表4-1**に、代表的な機種の対応コプロセッサを挙げる。

表4-1　コプロセッサの互換性

メーカー	モデル	推奨コプロセッサ
Amax Engineering	386 Business System	80287−6、−8、−10
American Logic Research	386／2	80287−10
American Logic Research	FlexCache 20386	80387−20
American Research	ARC 386i	80287−10
AT&T	6300	8087−2
AT&T	6300 Plus	80287、80287−6
AT&T	6386 Work Group System	80387−20

メーカー	モデル	推奨コプロセッサ
CAE／SAR	386	80287－10
CAE／SAR	CAE／SAR II	80387－25
Chicago Computer Conn.	CCC－386c	80287－6、－8、－10
Commodore	PC－10	8087、8087－3
Compaq	Deskpro 286 (8MHz)	80287、80287－6
Compaq	Deskpro 286 (12 HMz)	80287－8
Compaq	Deskpro 386 (初期)	80287－6、80287－8
Compaq	Deskpro 386／16	80287－16
Compaq	Deskpro 386／20	80387－20
Compaq	Deskpro 86	8087－2
Compaq	Portable II	80287、80287－6
Compaq	Portable III	80287－8
Compaq	Portable 386	80287－20
Computer Classified	ST－386	80287－6、－8、－10
Computer Components	Heritage 386 (初期)	80287－10
Computer Components	Heritage 386 (後期)	80387－20
Computer Dynamics	Miicro System 386	80387－16
Core	ATomizer	80287－6
Corvus	386	80387－16
Dell	310	80387－20
Epson	Equity III	80287、80287－6
Everex	Step 386／20	80387－20
Herko Electronics	HEI Turbo 386 Tower	80287－10、80387－20
Hewlett-Packard	Vectra R5／20	80387－20
IDR	386 Workstation	80387－20
IBM	AT (6 または 8 MHz)	80287、80287－6
IBM	PC	8087、8087－3
IBM	PS／2 Model 30	8087－2
IBM	PS／2 Model 30 286	80287－10
IBM	PS／2 Model 50	80287－10
IBM	PS／2 Model 60	80287－10
IBM	PS／2 Model 70 (16 MHz)	80387－16
IBM	PS／2 Model 70 (20 MHz)	80387－20
IBM	PS／2 Model 70 (25 MHz)	80387－25
IBM	PS／2 Model 80 (16 MHz)	80387－16
IBM	PS／2 Model 80 (20 MHz)	80387－20
IBM	XT	8087、8087－3
IBM	XT Model 286	80287、80287－6
IBM	Portable PC	8087、8087－3

メーカー	モデル	推奨コプロセッサ
IBM	3270 AT	80287、80287−6
Intel	Inboard 386	80387−16
Intel	Inboard 386／PC	80387−16
Kaypro	386	80287−10、80387−16
Laser Digital	Pacer−386	80287−10
Micro 1	386 PC	80387−16
Mistubishi	MP 386	80287−8、80387−16
NEC	APV−IV	80287、80287−6
NCR	PC4	8087、8087−3
NCR	916	80287−10、80387−16
Northgate Commputer Sys.	386／20 Northgate Power	80387−20
Osicom Technologies	Ocicom 386	80287−10、80387−16
Pan United	Micro Lab 386	80287−8、−10、80387−20
PC Designs	GV 386	880287−6、−8、−10
PC Link	386／20	80387−20
PC's Limited	386／16	80387−16
Proteus Technology	286 Stanndard	80287−10
Proteus Technology	386A	80287−10
Sperry	PC／microIT	80287、80287−6
Tandon	PCA	80287、80287−6
Tandy	3000	80287、80287−6
Tandy	4000（初期）	80287−8
Tandy	4000（後期）	80387−16
Televideo	Tele／386	80287−10、80387−16
Toshiba	T5100	80387−20
VIPC	386 Colossus	80387−20
VIPC	System Micro 386	80287−8、−10、80387−20
Wang	380	80287−10
Whole Earth	386 Tower	80387−20
Wyse	pc286	80287−10
Wyse	pc386	80387−16、80287−6、−8、−10
Wyse	pc386	80387−16、80287−6、−8、−10
Wyse	1400	8087、8087−3
Wyse	1500	8087、8087−3
Zenith	148	8087−2
Zenith	150	8087、8087−3
Zenith	158	8087−2
Zenith	160	8087、8087−3
Zenith	386	80287−6、−8、−10、80387−16
Zenith	Z200	80287、80287−6

80287

8087の最初の設計において、Intelは、チップの回路をバスインターフェイスユニットと、実際の浮動小数点演算ユニットの、2つの機能要素に分割するという先見の明を持っていた。前者は、チップとそれが搭載されているシステム（特にマイクロプロセッサ）とをリンクし、後者は演算を実行する。したがって8087は、演算機能側はそのままで、バスインターフェイスだけを修正して、簡単にほかのマイクロプロセッサや環境に適合するように改良できる。結局は、これがIEEE浮動小数点数規格の求めていた形だった。8087の形式や機能、算出される答えは、規格によって定義されているため、組み込まれたマイクロプロセッサやコンピュータによっては変わらないのである。

Intelは、次世代の浮動小数点数演算プロセッサ「80287」の開発に、8087の分割設計を採用した。1985年に発表されたとき、オリジナルの80287は、8087の浮動小数点数演算部分を利用し、Intelの80286マイクロプロセッサチップに適合するように、これに新しいインターフェイスロジックを組み合わせていた。ただし、変換の過程では、初期のIEEE規格の変更を反映させて、浮動小数点演算ユニットに若干の修正を加えた。

8087の場合と同じく、80287のバスコントロールロジックは、80826とリンクするように設計されており、システムサポートについては、マイクロプロセッサに依存している。新しいマイクロプロセッサでは、広いアドレスバスが使われているため、8087は80286と一緒に使うことはできない。実際、80287と80286の結び付きは、8087と8086のそれよりも緊密である。80287は、組み込まれているコンピュータのアドレスラインへのアクセス権さえ持たない。メモリ関連の動作は、すべてメインの80286マイクロプロセッサが処理するのである。

このアドレスなしの設計により、80287は、80286プロセッサのリアルモードとプロテクトモードの両方を扱うことができ、プログラム側からは、マイクロプロセッサの持つ16Mバイトのアドレス範囲すべてを利用できる。8087はリアルモードでしか動作しない。

8087と同様に、80287は40ピンDIPソケットタイプにパッケージ化されているが、8087とはピン互換ではない。さらに、8087は、ホストのマイクロプロセッサと同じクロック信号に同期しているのに対し、80287は非同期で動作するように設計されている。このため、80287は、かならずしもホストのマイクロプロセッサと同じ速度で動作するわけではない。マイクロプロセッサとコプロセッサの2つのチップは、互いのデータ転送サイクルに合わせて、その動作を同期させることが可能で、必要に応じて待ち時間をとりながら動作している。

通常80287は、80286ベースのマシン全体を制御しているオシレータに接続されている。しかし、内部分周回路が、80287に入ってきたクロック周波数を、浮動小数点数回路に到達する前に1/3にスローダウンする。したがって、80287は、与えられたクロック速度の1/3で動作しているのである。ほとんどの80286システムでは、マイクロプロセッサを走らせるクロックは、80286に接続される前に半分に分周される。一般には、コプロセッサがマイクロプロセッサのちょうど2/3の速度で動作するように、80287には分周される前のクロック信号が接続されている。たとえば、8MHzのIBM ATでは、80287コプロセッサは5.33MHzで動作する。

80287は非同期で動作するため、そのクロックが、マイクロプロセッサの倍数または約数である必要はない。事実、80287に専用のクロックを与えているコンピュータもあり、このようなシステムを設計するエンジニアは、希望する速度でコプロセッサを動作させることができる。専用クロックを使うことによって、80287の実質上のデータスループットを上げることができる（ただし、チップの定格が設計速度未満である場合に限る）。

80287は、386マイクロプロセッサとも互換性がある。しかし、386と同じ速度で動作することはできず、386が使っているデータバスに適合させるには、特別なインターフェイス設計が必要になる。さらに、80287はそもそも16ビットチップなので、80287とホストの386との間のやり取りは、基本的にはすべて16ビットワードで行われ

る。これは目に見えない障害になりうる。

これまでIntelは、4種類の速度定格を持つ80287チップを発売してきたが、現在でもいずれもすたれてはいない。4種のチップはすべて、2つの新しいコプロセッサ、「287XL」と「287XLT」に姿を変えた。この新しい2つのコプロセッサは、第2世代の「387」コプロセッサ(本章で後述)に初めて搭載された、新しい浮動小数点演算ユニットの設計に基づいたものである。どちらも、最高12.5MHzの速度で動作するように設計されているが、287XLのほうは、どの速度定格の287チップにも合うように設計されたソケットに差し込むことができる。一方、287XLTは、特に低電力アプリケーションを対象にして設計されたもので、ほかの287とはソケットの互換性がない。287XLTはPLCC(Plastic Leadless Chip Carrier)パッケージで、XLは初期の80287の搭載に使用されていた40ピンDIPソケットと互換である。

古い80287は、速度定格が表示されているので区別できる。普通の80287(80287－3)は、最高5MHzの速度で動作する。「80287－6」は最高6MHz、「80287－8」は最高8MHz、「80287－10」は最高10MHzでそれぞれ動作する。4つのチップは、与えられているクロックがチップの動作範囲内ならば、相互に交換して使用できるが、わざわざ遅いクロックで高速仕様のチップを使う意味はない(高速チップはたいへん高価である)。

12.5MHz定格の286XLやXLTよりも高速な80287は、存在しないことに注意する必要がある。しかも、他社は最高20MHzの速度で動作可能な(必要なクロック信号を、そのコプロセッサソケットに供給できる場合に限る)80287の高速クローンを作っている。これらのチップには"287"という番号とその後ろに速度定格の"－20"を付けたパーツナンバーが付けられている。

80287のIntelのバスコントロールロジックの設計では、コプロセッサは情報のアドレス指定について、マイクロプロセッサに依存するようになっている。これは、80287が80286の16Mバイトのメモリ空間によって制限されないということを意味する。この設計により、80287は386マイクロプロセッサとも動作でき、実際、2年間は、386の正式なIntel製コプロセッサは80287であった。

しかしながら、80286は386環境では欠陥があった。80286は16ビットインターフェイスで設計されているが、386は32ビット動作が可能で、80287へデータを移すためには、幅の広いデータを、狭いサイズに変換しなければればならなかった。さらに、80287はIEEE浮動小数点数規格から取り残されてしまった。事実、80287が生産に入った後になって、IEEEの浮動小数点数規格が、「ANSI／IEEE 754－1985」として現在知られている最終的な形を取ったのである。80287とその最終規格の間には、微妙な違いがあったため、80287は特に386ベースのパーソナルコンピュータにとっては、理想的な数値演算コプロセッサではなくなった。とはいえ、低速の80287でも、浮動小数点数演算においては、386単体より高速であり、したがって、低速の80287でも追加する価値はある。

387

Intelが、386に適合するコプロセッサの設計を開始したときには、8087設計は古くなりつつあった。古びた浮動小数点演算ユニットは、変わりつつあるIEEEの試案に追いつかなくなっていたばかりでなく、現代の半導体設計技術にも遅れをとっていた。このためIntelは、386マイクロプロセッサにマッチするコプロセッサを開発するにあたって、チップ全体(バスコントロールロジックと浮動小数点演算ユニット)を改良することに決めた。

Intelは、アメリカでの386設計作業と並行して、イスラエルで「387」の開発に取り組む設計チームを組織した。しかし、数値演算コプロセッサは、予想していたよりも大きなチャレンジであることがわかり、結果として387は、386から約2年間遅れて登場することとなった。その間は、古い80287が386の計算アシスタントとしての役割を果たした。

新しい浮動小数点演算ユニットが発表されたとき、最終のIEEE規格に準拠しているだけでなく、前の8087／80287浮動小数点演算ユニットより約5倍速いことがわかった。この新しい浮動小数点演算ユニットは、387数値演算コプロセッサの一部として1987年に発表されたのち、Intelにおける

以後すべての数値演算コプロセッサの基礎となった。また、387SXや、80287の最新バージョンである287XLや287XLTコプロセッサの基礎としての役割も果たしている。その設計の大部分は、486マイクロプロセッサの浮動小数点演算部分に反映されている。

387は、80287が8087に対して持っているのと同程度の下位互換性を、80287との間に確保している。おもな相違は、IEEE規格の変更に起因するエラーハンドリングにある。この相違は、ソフトウェアが適切に書かれていれば容易に管理できるものである。問題によっては、387や387SXは、実際に80287とは少し異なる答えを出す可能性もある。「2と2をたしたら22になった」というほどひどいものではないが、はるか下位の小数点位置で異なる超越数（π、εなど）を導き出す場合がありうる。これは、マイクロプロセッサに欠陥があるからではなく、387と387SXが最新のIEEE規格に正しく準拠しているからである。

Intelが、387の浮動小数点演算ユニットの更新において行った、そのほかの変更は、sin、cos、tan、sec、log関数を始めとする、広範な超越関数をチップに組み込んだことである。その結果、387と387SXは、80287用に書かれたすべてのプログラムを実行できるが、逆はかならずしも真ならずで、387または387SXのすべての能力を利用しているプログラムは、下位のチップでは実行できないこともある。

387は非同期で動作することができるが、通常は、一緒に搭載されている386と同じ速度で動作する。したがって、マイクロプロセッサの高速バージョンが利用可能になるに伴い、それを追いかける形で、より高速なバージョンが作られており、現在は最高33MHzのバージョンが存在する。

387は、386と外観は同じで、サイズが小さいだけである。その正方形の68ピンPGA (Pin Grid Array) パッケージは、マイクロプロセッサと同様に、焼き物の板のような外観をしている。チップの速度定格は、パーツ番号の後ろにMHz単位で表示されており、したがって、「387−20」であれば、定格速度は20MHzということになる。

387の設計はその後に変化した。387を33MHz定格まで上げることが必要になったとき、さらなる設計改良が必要であることが判明した。Intelは、N型金属酸化膜半導体（NMOS）から相補型金属酸化膜半導体（CMOS）に切り換え、チップのシリコンに1ミクロンの単位でエッチングできる、新しい製造技術を使用した（以前の387は1.5ミクロンまでであった）。浮動小数点演算ユニット自体の設計修正を含む、これらの改良によって、約20%の性能の改善が得られた。同じ基本設計は50MHzチップにも使用されている。

1990年10月1日、Intelは387チップの16、20、25MHzの各バージョンに33MHz以上の高速バージョンが使っていたのと同じ新しい技術を適用し、性能を20%向上させた。新しいチップは、前のものとソケットは互換で外観も同じである。古い技術の387と新しい技術のチップを見分ける唯一の方法は、パーツナンバーの下の数字コードである。古い387は、10個の数字からなるコードの頭に〝S〟という文字が付いているが、新しい技術で作られたチップにはこれがない。

386SX用の数値演算コプロセッサである387SXも、この技術を使って1990年1月に発表された。387SXは387DXと同じチップだが、32ビットのデータバスではなく、386SXの16ビットバスで動作するように、バスインターフェイスユニットが修正されている。Intelは、16、20、25MHzの速度定格のものを含めて、すべての386SXマイクロプロセッサにマッチする387SXを発売している。

487SX

オリジナルの486マイクロプロセッサの設計では、外付けの浮動小数点コプロセッサはまったく必要なかった。Intelは、（最新、最高速の387設計を使って）メインのマイクロプロセッサの内部に、浮動小数点回路を組み込んでいたのである。コプロセッサを内蔵することによって、パッケージが1つ不要になっただけでなく、メインのマイクロプロセッサとコプロセッサの間の通信も簡素化された。わざわざ経由しなければならない外部回路がないため、どんな幅および速度でもうまく動作する、最適な伝送パスを設計することができる。チップ設計と製造技術における前進により、

かなり複雑な設計も可能になった。

しかし、コンピュータを使ったすべての仕事に、かならずしも浮動小数点コプロセッサが必要なわけではない。技術の進歩により、1つのシリコン片に、メインのマイクロプロセッサとコプロセッサ回路を同時に組み込むことが可能になったとはいえ、2つを組み合わせたチップは、汎用プロセッサ単体よりも製造コストが高い。コプロセッサ回路をなくせば、安い486が作れるのである。実際、コプロセッサなしの486は高速な386ともいえる。つまり、486の効率的な処理の長所は持っているが、アプリケーションによっては、高価なだけで必要のないコプロセッサが付いていないチップなのである。このアイデアから生まれたのが「487SX」コプロセッサである。

487SXは、ユーザーにもう1回チャンスを与えるものだ。つまり、486SXベースのマシンを購入した後で、アプリケーションから最大の性能を引き出すのに、コプロセッサが必要になった場合、このチップが、必要な数値演算速度を与えてくれるのである。また、投資コストを分散して、最初は安価な486SXを購入しておき、後で486DXのフルパワーにアップグレードすることもできるのである。もちろん、Intelが486SXを投入するにあたっては、たとえば、コプロセッサユニットに製造上の欠陥がある486DXチップの販路を、486SXによって得ようというような、もっと世俗的な理由を持っていた可能性もある。

486SXと487SXの存在理由がなんであれ、これらには欠点がある。486DXの主要な長所の1つは、マイクロプロセッサとコプロセッサを1つのパッケージに収めたということであったが、486SXと487SXのペアはこの設計を2つに分けたものなのだ。

こうした欠点を回避するために、Intelは奇抜な解決法を考え出した。487SXは基本的に、ほんの少し異なるパッケージに入った486DXである。487SXには特別なピンがあり、487SXをソケットに差し込むと、搭載されている486SXを自動的に無効にして、487SXの回路が、すべてのシステムオペレーションについて、486SXの代理を務める。追加されたピンはこのような機能をもっている。また、486DXは487SXの代わりとしては使用できないようにもなっている。487SXを搭載すると486SXはオフになるが、487SXは、マシン内には同時に486SXが搭載されていなければ動かない設計になっている。この方法は、少なくともIntelにとっては利益となっている。ユーザーは487SXを搭載後、古い486SXを取り出してほかのパーソナルコンピュータに付けることはできない。もしこれが可能ならば、Intelにとって、ほかのマイクロプロセッサの売上減となるだろう。

487SXチップは、いずれもPGAパッケージで、Intelのラインアップの、各486SXマイクロプロセッサに適合する速度定格のものがある。しかし、現在487SXはIntelの「OverDrive」チップの登場により、すたれてしまっている。487SXのシンプルなコプロセッサ機能とほぼ同じ価格で、OverDriveチップは、クロックの倍速化と浮動小数点機能を同時に提供している。OverDriveはお買い得なのだ。

また、戦略的には、OverDriveラインはコプロセッサ競争に大きな課題を与えている。もはや、コプロセッサのクローンを作るだけでは十分でない。プロセッサとコプロセッサ一体型のチップ全体を複製しなければならないのだ。これは、ベンダーが越えねばならない高いハードルである。

不完全な486SXチップが得た不評と、OverDriveとを併せて考えてみると、487SXはIntelの専用コプロセッサラインの、最後の存在であるといえるだろう。たしかにIntelは、市場が要求する限り(その製品から利益が得られる限り)、古いマイクロプロセッサ用のコプロセッサの製造を中止することはないだろうが、新しい浮動小数点演算ユニットは恐らくIntelの計画に入っていないだろう。

4.5 互換コプロセッサと非互換コプロセッサ

だれが言ったのかは分からないが、〝パーフェクトな製品〟とは5セントで製造でき、1ドルで売れ、習慣性のあるものなのだそうだ。コプロセッサには習慣性はないが(パーソナルコンピュータの性能を向上させる製品は、そういう傾向もないわけではないが)、それ以外の点ではパーフェクトな製品といえる。一時1,000ドルまで価格が上がったこともあるコプロセッサの製造コストは、現在はほんの数ドルである。コプロセッサは、半導体ビジネスの中で最も儲かる分野の1つであり、ほとんどのチップメーカーには、コプロセッサの製造が、ギャンブラーにとっての勝つことが分かっている賭けと同じように、魅力的に映ったことは理解できる。

Intelは、ほかのチップメーカーに、80286と80287ファミリー用のマイクロプロセッサとコプロセッサの設計を行うライセンスを供与したが、387と386のライセンスを供与することだけはかたくなに拒否した。生産コストが低く、市場価格が高いこれらのチップは、Intelにとって大きな収入源だったのである。これがどれほど儲かるかは、これを羨んだ多数の企業が、自社の互換製品の設計に投資したことでもわかる。Chips and Technology、Cyrix Corporation、Integrated Infomation Technology、ULSIなどがそうした企業であった。

これらのコプロセッサはすべて、〝クリーンルーム〟の手法を用い、リバースエンジニアリングによって設計されている。すなわち、設計者は元の製品の正確なレイアウトについては詮索せず、その機能から元をたどることによって、プロトタイプを複製しているのである。その結果生まれたクローンは、Intelの設計とは大きく異なっている。事実、ほとんどの互換コプロセッサメーカーは、自社の製品は後から設計したものの強みで効率的な設計になっており、オリジナルより優れていると主張している。

クリーンルーム手法によって、多数の著作権問題を回避できるが(クローンチップは実際に、Intelチップのどの部分もコピーしていない)、Intelが権利を有するほかの法的保護と衝突することがありえる。たとえば、Intelは、ライセンスを供与するかしないかを自由に決められる、チップ製造に関する多数の特許を持っている。このようなライセンスを手元に留めておけば、クローンチップはいうまでもなく、ほかの会社がチップを製造するのを阻止することも可能だ。実際、Intelは、いくつかのコプロセッサメーカーに対して、この法的保護を主張したことがある(そのうち、少なくとも一時的に成功したのは、ULSIに対する訴訟である)。また、ほかの互換コプロセッサベンダーに対する訴訟も開始したが、クローンチップの販売を阻止することはできなかった。ベンダー側は、アメリカの伝統にならって、Intelに対する訴訟で応酬したのである。結果として、クローンコプロセッサは、つねに法的な不確実性を伴っている。

複雑な法的手順は、専門家である法律家に任せればよい。ユーザーが互換コプロセッサを購入したい場合に、法律の複雑さを心配する必要はない。だれかがドアをノックして、不法なコプロセッサを没収したりはしない。むしろ、すべての可能な選択肢を調査し、自分や、自分のパーソナルコンピュータ、そして自分の予算に最も適した選択肢を選ぶようにしなければならない。選択肢はいくつもあるのだ。

Chips and Technologies SuperMathDX

チップセットメーカーのChips and Technologies社は、1991年に生産ラインを拡張して、Intel互換のマイクロプロセッサをリリースし、続いて1992年には387互換のコプロセッサをリリースした。387互換チップは、同社の「SuperMathDX」ラインで具体化された。

SuperMathDXチップは、外見は387だが、内部設計はまったく異なっている。Chips and Technologies社によれば、SuperMathDXチップは、

いくつかのオペレーションを、Intelの同等品の6倍の速度で実行できるようだ。もちろん、この差は浮動小数点の性能だけを見たもので、実際のアプリケーションではその差はずっと小さい。

Intelの387シリーズとソケット互換の、SuperMathDXラインのコプロセッサは、Intelのチップと同じ68ピンPGAパッケージを使用しているが、Intelの387DXと比べて、ハイエンド版では一歩進んでおり、最高40MHzの定格のものがある。

現在のコプロセッサの中で、SuperMathDXシリーズにだけ特有なのは、「パワーマネージメント回路」である。これは、ラップトップパソコン用のマイクロプロセッサが持っているパワーマネージメント回路に似たもので、これにより、SuperMathDXの消費電力が削減される。通常、このチップは動作時に約0.5W(5Vで100mA)必要である。SuperMathDXシリーズは、IEEE 754－1985浮動小数点仕様に準拠しており、Chips and Technologies社によれば、全シリーズのチップが、Intelの387ラインのコプロセッサと100%互換性があるとのことだ。

Cyrix 83D87

Cyrix Corporationは、先進的な半導体部品を設計、販売するために1988年に設立された。設立後、Cyrixが最初の製品として、Intel互換の数値演算コプロセッサを開発することを決定したのは、この分野の市場では目立った競合がなかったためである。Cyrixのコプロセッサ「FasMath」シリーズの第1号は、1989年10月に、Intel 387のピン互換製品である「83D87」として誕生した。1990年3月には、386SXコンピュータ用の低価格バージョン、「83S87」が発表された。

Cyrixの製品は、Intel 387ファミリーのコプロセッサと、完全互換であるように設計されている。Cyrixのチップは、Intel製品のドキュメント化されている機能も、ドキュメント化されていない機能も取り込んだ、まったく独自のロジック設計で作られている。最も大きな違いの1つは、Cyrixチップは、マイクロコードよりも、ハードワイヤードロジックに依存しているということである。このような設計を採用したことにより、Cyrixチップは、浮動小数点演算ではIntelのチップより、かなり速い速度で動作できるようになっている。

ハードワイヤードロジックとは、その名のとおりの意味で、コマンドを構成するビットパターンが、直接チップの半導体素子回路の状態変化を起こす。各パターン(各論理命令)は、コプロセッサのハードウェアの中に特別に設計される。

マイクロコード設計の場合には、マイクロプロセッサに送られるインストラクションによって、チップは縮小版の内部プログラムを構成している、複数のステップを実行する。内部プログラムが、チップのより汎用性の高いロジックに、要求された機能を実行するように指示するのである。

マイクロコード設計は、より組織化された手法で、設計者に高い柔軟性を与え、製品化を早めることができる。また、こうした設計により、汎用回路で複雑なインストラクションセットを扱うことも可能になっている。しかし、マイクロコードは、チップの思考プロセスを減速させることもある。マイクロコードを実行することにより、各演算にもう1つの層のオーバーヘッドが課されるためである。

純粋に浮動小数点演算に限れば、Cyrixチップは、正式のIntel 387チップのほぼ2倍の速さで演算することができる。しかし、市販のアプリケーションソフトウェアで得られる実際の性能の差は、もっと小さい。ほかの動作のオーバーヘッドにより、CyrixとIntelの製品の間には、約10%程度の差しか現われないことに注意しなければならない。

Cyrix EMC87

Cyrixは、自社を単なるクローンチップメーカー以上のものにするために、メモリマップ設計の「EMC87」を作り、I／Oマップ設計のコプロセッサに従来から存在した制限を超えようと試みた。EMC87は、387と同じアーキテクチャをベースにして、80ビットレジスタを持ち、同じコマンドセットを使用したが、バスコントロールロジックは全体を作り直している。Cyrixによれば、Intelに対して5倍の性能を達成するとのことだ。しかし、前述のように、システムのほかのオーバーヘッドを考えると、実際のアプリケーションの実行時

にはその差はほとんどなくなる。

しかし、ほかのメモリマップコプロセッサとは異なり、Cyrix は EMC87 で Intel 387 との完全な互換性を達成している。Cryix チップは、アプリケーションで与えられるインストラクションに応じて、I/O マップコプロセッサとしても、メモリマップコプロセッサとしても動作することができる。I/O マップインストラクションの場合には、Intel 387 とほとんど同じ動作をし、メモリマップインストラクションの場合には、ネイティブモードに移行する。

当然ながら、メモリマップコプロセッサとしての速度を得るには、EMC87 用に特別に書かれたソフトウェアが必要である。既存のほとんどのアプリケーションは、Intel 387 式の I/O マップインストラクションしか持っていない。さらに、EMC87 は、Weitek Corporation によって製造されたチップファミリーを含めて、ほかのメモリマップコプロセッサ用に書かれたコードとは互換性がない。Weitek と Cyrix のメモリマップチップは、その浮動小数点演算ユニットに、まったく異なるアーキテクチャを採用している。

EMC87 はメモリマップ方式なので、386 コンピュータで使用されているすべてのアドレスラインへアクセスする必要がある。したがって、EMC87 は 121 ピンすべてを持っており、通常は Weitek のコプロセッサ用として搭載されている EMC ソケットに収まる。

チップの需要を生み出すには、ソフトウェアが必要であることから、Cyrix は、EMC87 用として、アセンブリ言語のコードを、I/O マップインストラクションからメモリマップインストラクションに変換するコードコンバータを提供している。このコードコンバータは、Pascal や C を始めとする、高水準言語コンパイラによって作成されているものを含めて、いかなるアセンブリ言語のファイルでも使用することができる。この無料のコードコンバータは、ソフトウェア開発者には興味深いものであるが、エンドユーザーにとっては何の価値もない。市販のアプリケーションを、EMC87 と互換になるように変換することはできないのである。

ソフトウェアベンダーが EMC87 に興味を示すまでは、このチップの追加機能は単なる好奇心の的でしかありえない。ユーザーの基盤を育てるために、Cyrix は EMC87 の価格を 83D87 と同じに設定した。これらのチップは、Intel の I/O マップインストラクションと互換性があるため、自分のマシンに 83D87 より大きい EMC87 用のソケットがない人にとっては、それだけが 83D87 を選ぶ唯一の理由となる。

IIT 3C87

Integrated Infomation Technology はコプロセッサメーカーで、浮動小数点チップとビデオチップの両方を作っている。Weitek で働くために Intel を退社した 2 人のエンジニア（1 人は実際に Weitek の共同創立者であった）が 1988 年に始めたこの会社は、1.2 ミクロンテクノロジーを基にしたフル CMOS 設計を使って、Intel の 80287 および 387 と互換性のあるチップを提供している。

IIT コプロセッサ設計は、「IIT 3C87」が 8 個ではなく、32 個の 80 ビットレジスタを持っているという点で、Intel のオリジナルと異なっている。これらのレジスタは 4 つのバンクに分けられており、4×4 行列の数値演算を可能にする設計によって、グラフィックスアプリケーションでの描画性能を加速できるようになっている。Intel アーキテクチャのコプロセッサのシミュレートには、4 つのバンクのうち 1 つだけを使っており、4 つのバンクすべてを使うには、IIT の 4×4 行列インストラクションを使っている、特別なプログラムが必要になる。

IIT によれば、3C87 は、数値演算では Intel 387 より 50%高速に演算を行うことができる。しかし、Cyrix チップの場合と同様に、システムのオーバーヘッドがあるため、実際のプログラムスループットはもっと小さい。

Cyrix チップとは異なり、IIT のコプロセッサは Intel 387 のオペレーションをそのまま複製していない。Intel と IIT のチップでは、80287 と 387 の場合と同様に、例外処理が異なっている。IIT のチップで実行すると変則的な結果を示すプログラムを書いて、この違いを商売に利用したチップ

メーカーもあった。これらのチップメーカーは、このような結果は3C87の不正確さを示していると主張している。しかし、IITによれば、このように奇妙な答えが出るのは、1,027のように比較的小さな数で大きな数を割ることによって、例外処理の違いを、わざとおおげさに表わそうとしたときに限られ、通常のアプリケーションソフトウェアでは奇妙な結果が出ることはないということである。

IITは、初期の3C87内部にバグがあり、UNIXの下でAutoCadを実行しているとき（この組み合わせで使用している場合に限り）、アークタンジェントを使うとエラーが出ることを認めている。このバグは1990年6月に修正されている。また、ITTによれば、これまで出荷された100,000個のチップでは、そのほかのいかなる問題も報告されていないとのことだ。

ULSI MathCo 83C87

現在はもうコプロセッサ競争には参加していないが、ULSIの「MathCo 83C87」は、Intel Corporationが行った訴訟により、マーケットから締め出された。〝ULSIは83C87の製造においてIntelの特許を侵害している〟との請求がIntelから出され、1991年初めに法廷はULSIに対して、今後チップ製品を販売しないようにとの命令を下したのである。

ULSIという社名は、この会社の専門分野である〝Ultra Large Scale Integration〟を略したものであり、多量の回路が詰め込まれた小さなチップ製品を開発している。MathCo 83C87は、Intel 387のリバースエンジニアリングによって製造されたクローンである。ULSIによれば、MathCo 83C87ラインの製品は、模造した様々なIntelチップと完全なソケット互換がある。

CMOS技術と、無駄を省いたシンプルな設計を使用したULSI製品は、Intelのチップよりも高速であるといわれていた。MathCo 83C87は、各演算を、Intelチップで同じ演算を行うのに必要なクロックサイクルよりも少ない時間で実行できた。たとえば、Intelチップは、簡単な加算インストラクションを実行するのに18クロックサイクル必要だが、ULSIチップでは3サイクルしか必要ない。また、Intelチップでは80サイクル必要な除算を、ULSIチップは40サイクルで処理できる。とはいえ、こうした高速計算もそのチップを買えなければ何の意味もないわけで、法係争の問題によって、ULSIコプロセッサの先行きは不安定なものになっている。

Weitek 1167

ほかの会社がIntelのコプロセッサのクローン作りに専念していたとき、California州Sunnyvaleにある Weitek Corporationは、独自の道を進み、自らの規格に合わせたメモリマップコプロセッサを作っていた。Intelの元社員によって設立されたWeitekは、ほかのどのクローンチップのメーカーよりも、世界で愛用されているマイクロプロセッサのメーカー各社と良い関係を持っている。1981年に創立された同社は、1985年までに、Motorola 68020やSun SPARCマイクロプロセッサをベースにしたものを含め、様々なワークステーション用の浮動小数点コプロセッサを生み出していた。このころ、Intelは、386マイクロプロセッサ用のコプロセッサの生産で、Weitekと契約を結んだ。Weitekによれば、Intelの387開発スケジュールは遅れており、Weitekが387チームと並行して製品を開発したとのことである。

しかし、387とは異なり、Weitekの力作は、マルチプラットフォーム設計から開発されたものだった。Intel環境用の最初のWeitekの製品は、1個のコプロセッサを、構成要素に分割している。浮動小数点チップは同じものを使うが、バスインターフェイスのチップは、ほかのマイクロプロセッサアーキテクチャとは別のものを使うようにしたのである。したがって、最初のWeitekチップである「WTL1167」は、1個のチップではなく、小さなL形プリント回路基板に複数のチップが載った部品であった。Weitekが所有権を持つ3つのモジュール、「1163」、「1164」、「1165」がまとめられて1つのコプロセッサ部品を形成していたのである。

WTL1167は、特殊な外観を持ち値段も高いが、1つの大きな強みを持っている。それは、多数の

数値演算、特にCADにおいて、387よりずっと高い性能を実現するということである。さらに、超越関数だけではなく、すべての数値演算で動作する。Weitek Corporationによれば、WTL1167は、専用のマシンでは、387の3倍から4倍の性能を出せるということであった。とはいえ、コプロセッサだけを使うアプリケーションはないのだから、このような性能の保証もやはり無意味である。

Weitekの WTL1167とその後継チップは、奇妙なコマンドセットを使うのではなく、本来のプロセッサの実力だけで、パーソナルコンピュータの浮動小数点性能を加速している。事実、Weitekチップには、Intelチップのような豊富なコマンドレパートリーも広いレジスタの幅もない。Weitekコプロセッサはすべて、加減乗除、否定、絶対値、比較テスト、データ移動、フォーマット変換の各機能を扱うように最適化された、32ビットレジスタを使用している。

Intelのコプロセッサと同様に、WTL1167やほかのWeitekチップは、ホストのマイクロプロセッサから渡される、特別なインストラクションに依存しているが、そのインストラクションは、Intelチップが使っているものとはまったく異なる。Weitekコプロセッサのインストラクションは、ホストのマイクロプロセッサに、DOSまたはOS/2プログラムが使用できる範囲を越えた、特定のメモリエリアをアドレス指定させる。アドレス指定動作、つまり、これらの特別なアドレスラインで特定のパターンの起動することにより、Weitekプロセッサはどのオペレーションを実行すべきか指示される。

WTL1167は、387が使っているソケットのスーパーセットである、特別な121ピンソケットに差し込まれる。したがって、このソケットを使っているコンピュータなら、387とWTL1167のどちらでも搭載することが可能だ。

WTL1167のボードには、外した387を挿入するソケットが用意されており、1つのシステムで2つのチップを使うことができる。このため、両チップの恩恵を受けることができる。ただし、パーソナルコンピュータに両方のチップを差し込んでも、2つのコプロセッサは相互に作用し合ったり、協同作業をすることはない。各チップは専用に設計されているコードだけを実行するのである。

Weitek 3167

本来、3チップ設計は作るのにコストがかかり、1チップよりも信頼性が低い。このため、1988年4月、Weitekは3チップのWLT1167を統合してシングルチップ「Abacus 3167」を作った。しかし、パッケージを除けば、基本的に1167と3167は同じもので、同じアプリケーションを実行し、同じ性能を実現する。

Weitek 4167

1989年11月、Weitekは、3167をベースにして、Intel 486マイクロプロセッサの機能を強化するように設計された数値演算コプロセッサ、「Abacus 4167」を発表した。Weitekによれば、4167は、浮動小数点演算を、486単体の場合より3倍から5倍高速に処理することができ、486ベースのパーソナルコンピュータに、RISCを使ったミニコンピュータと同程度の演算能力を与えることができるということである。

4167は、3167と完全互換性を維持しており(Weitekは、これを〝フルアップワードオブジェクトコードコンパチブル〞(full upward object code compatible)と呼ぶ)、3167で実行できるアプリケーションはすべて実行する。ただし、4167は、3167とハードウェアの互換性は持っていない。4167は、冒険心旺盛なプログラマのために、16個の32ビットレジスタを提供しており、142ピンのソケットが必要である。

4.6 コプロセッサに対する正反事例

表面的には、コプロセッサは賞賛に値するコンセプトである。コプロセッサは、浮動小数点演算における性能の実質的な改善という、明確な設計目的を示している。ある仕事が浮動小数点演算だけで行われる場合には、コプロセッサチップに奇跡を期待できる。将来の2世代、3世代後のマイクロプロセッサを待たずに、コプロセッサを追加することによって、速度の向上を図ることも可能だ。

残念ながら、ベンチマークテストやコプロセッサメーカーの開発したデモンストレーションを除けば、どのコンピュータプログラムも浮動小数点演算だけで構成されているということはない。高度に数値演算を必要とするアプリケーションでも、浮動小数点演算を使い切れない。

大量の繁雑な計算においてさえ、ほとんどのアプリケーションはそのコードの一部だけを計算に当てている。アプリケーションプログラムは、ディスプレイ情報の処理、ディスク操作、そのほかコプロセッサの援助を受けない雑多な機能にも、時間を割かなければならない。結果として、市販のアプリケーションによって行われる仕事の中で、コプロセッサの能力を当てにしているのは、ほんの一部に限られる。ほかのものよりオーバーヘッドが少ないため、コプロセッサを追加することによって高速化されるプログラムもあるとはいえ、いずれのアプリケーションも、実行を依頼されたタスクの影響をとても強く受ける。たとえば、スプレッドシートをデータベースとして使っている場合は、コプロセッサからの恩恵はほとんど受けないが、同じプログラムを財務計画に使用すると、コプロセッサによってプログラムは高速化する。コプロセッサの価値は、実行するアプリケーションばかりでなく、アプリケーションが関係しているタスクなどによっても変わってくるのである。

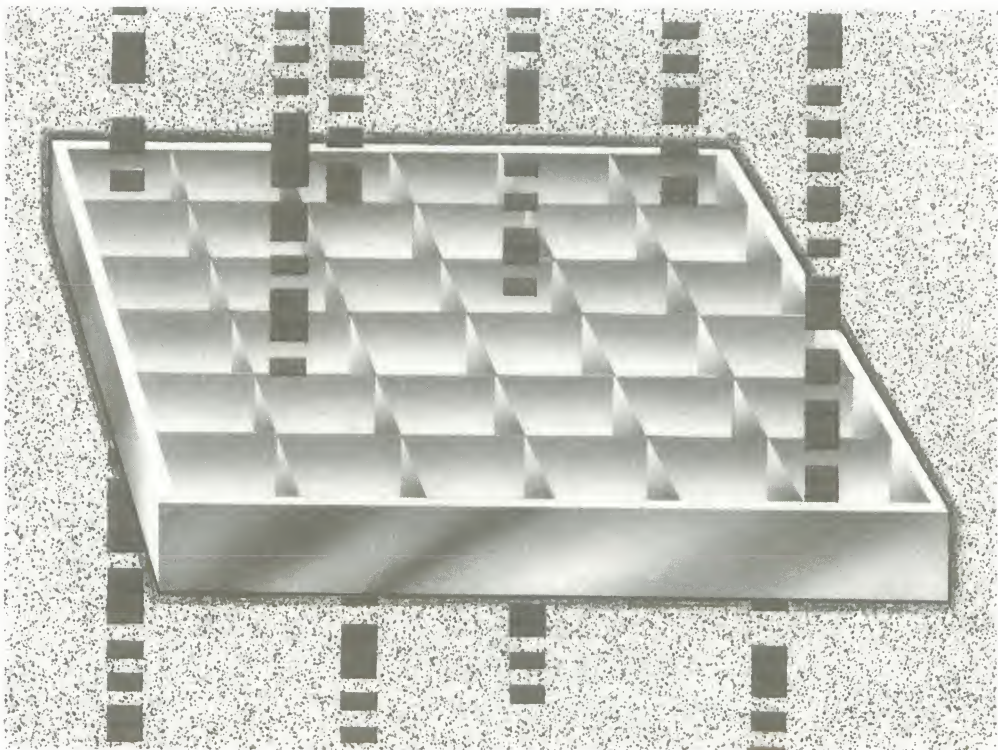
コプロセッサによって性能を改善させるには、その作業が超越関数を必要としていなければならない。超越関数を最も必要とする分野は工学や科学である。一般的な経理計算では超越関数の必要性がないが、複利計算が関連する財務処理などでは、コプロセッサから恩恵を得られるだろう。

コンピュータ援用設計（CAD）プログラムはすべて、数値演算コプロセッサを追加すると利点があるが、得られる恩恵は実行される動作によって異なる。イメージや画面再生成などの処理は、コプロセッサを利用すると、約半分の時間で処理される。隠線消去では、10％をやや越えるくらいの向上が見られる。

アプリケーションがなんであれ、通常のデータ入力作業での性能は、数値演算コプロセッサを追加しても変わらないだろう。標準のDOSオペレーションの速度も変わらない。

コプロセッサを必要とするかどうかは、個人の選択に任されている。浮動小数点作業が必要なアプリケーションを使っている場合、コプロセッサを使わないのは馬鹿げている。スプレッドシートの再計算で〝ほんの〞50％の性能の向上しか得られなかったとしても、パーソナルコンピュータで、これほど費用効果のある速度改善策は、ほかにはないのだ。もちろん将来的には、コプロセッサは（最も強力なマイクロプロセッサに内蔵された標準デバイスとして）不可避的に使用されることとなるだろう。

第5章

メモリ

メモリは、マイクロプロセッサを動作させる上で必要不可欠なものだ。マイクロプロセッサによって処理されるデータはすべて、一度はかならずこのメモリの中に入る。メモリには、これから処理しなければならない未処理データと、その処理の結果のデータの両方が格納される。メモリは、マイクロプロセッサとその周辺装置の間で、情報の橋渡しの役割を果たす、コミュニケーションチャネルであるといえよう。メモリには多くの種類があり、機能と使用されているテクノロジーによって分類できる。パーソナルコンピュータの中では、それらのメモリが、それぞれの特徴を生かし、適切な機能を果たして、有効に使用されている。

真の天才と、利口なだけの人との差は「記憶力」である。機転のきく人は、単に反応が早いというだけだが、真の天才は、自分の記憶と経験と知識とによって、本当の答えを見い出して反応する。コンピュータもまったく同じである。コンピュータは、メモリがなければただのスイッチボードでしかない。メモリがなければ、コンピュータの反応はすべて回路によって構成されなければならないし、プログラムによってデータを読み出したりデータを保持したりすることはできない。電気的には生き続けるが、自律的にしか反応しない、植物のような状態になるのである。

どんなに高速のマイクロプロセッサでも、今すぐに、または後刻使用するプログラムやデータを、即座に格納できる場所がなければ何の意味もない。マイクロプロセッサの内部レジスタは、わずか数ビットのデータしか保持できないため（レジスタに保持されるビットデータは、まるで捕まえても捕まえてもすぐに手からすり抜けてしまう〝ウナギ〟のようなものだ）、実際に有益な作業を行うプログラムの記憶場所としては、ほとんど用をなさない。メモリの場合、マイクロプロセッサの処理能力に合わせて、数百バイトから数千バイト、ときには、数百万バイトもの容量を持っており、巨大なプログラムのインストラクションのリストや、広大な範囲にわたるデータのブロックでも、十分保持することが可能だ。メモリがなければ、マイクロプロセッサには何の価値もなく、ほとんどが薄過ぎてドアストップの役にもたたないが、メモリがあるだけで、情報革命の使者に変わるのである。

メモリには様々な形態がある。今日のコンピュータに使用されている２進数記憶システムは、大理石や〝マジパン〟などのありふれたものから、金属酸化物の半導体まで様々なもので作ることができる。どんな材料で作っても、まったく同様に動作するわけではないが（すぐに分かることだろう）、すべてのメモリは、マイクロプロセッサが認識し、使用できる形式でビット情報を格納するという、共通の基本機能を持っている。ただし、メモリの種類によっては、マイクロプロセッサにとっての、認識や取り扱いの容易さの違いがある。

コンピュータメモリは、アクセスの容易さ、機能、使用されているテクノロジー、容量、そして速度など、多くの要素で分類することができる。

5.1　一次記憶装置と二次記憶装置

コンピュータのメモリシステムは、2つのタイプに分けられることが多い。一次記憶装置と二次記憶装置である。コンピュータやマイクロプロセッサから、直接アクセスできるのが一次記憶装置で、ここに保管されているデータは、つねに使用可能な状態にある。このタイプの記憶装置は、常時マイクロプロセッサに接続されていることから、**オンライン記憶装置**とも呼ばれる。この接続方法により、たとえば、マイクロプロセッサのアドレスラインを通して、直接アクセスすることも可能である。また、このタイプの記憶装置は、任意のデータ(ランダムデータ)を検索するのに時間を要しないことから、**ランダムアクセスメモリ**(Random Access Memory)、略してRAMという名称で呼ばれることも多い。一次記憶装置は、実際にはコンピュータにおいて、短期的に使用する記憶装置である。これは、アクセスは容易でも、概して容量が制限されているからである。

長期にわたって情報を保管するコンピュータメモリは、**二次記憶装置**と呼ばれている。このタイプの記憶装置は、情報を長期間保持できると同時に、コンピュータが処理する膨大な量の情報でも格納できる容量を持っている。二次記憶装置の容量は、一次記憶装置の数十倍、数百倍、時には数千倍のこともあり、この容量の大きさから、しばしば**大容量記憶装置(マスストレージ)**と呼ばれる。ただし、データはCPUからは切り離された(オフライン)状態で保管され、コンピュータからは、直接アクセスすることはできないため、二次記憶装置のデータを使用する際には、いったん一次記憶装置に移し換えなければならない。

ビットとバイト

デジタル式のコンピュータシステムでは、メモリは、きわめて簡単な仕組みで動作している。基本的には、コンピュータのメモリが行わなければならない動作は、ビットで構成される情報を記憶して、後で呼び出せるようにすることだけである。**ビット**は**バイナリデジット**(2進数値)を表わす略語で、情報を構成する最小単位である。ビットには、ほとんど知性といったものは存在しない。ビットは、単にあるものについて、オンオフ、上下、ある(1)なし(0)といった状態を表わしているに過ぎない。しかし、十分な数のビットをひとまとめにして扱えば、意味を持った情報をコード化することができる。個々のビットを、必要な量だけ記憶装置に格納することによって、どんな量の情報でも保管し続けることができるのだ。

人間は、コンピュータと同じ方法で記憶するわけではない。我々人間なら、複雑な記号でも、1ビットを記憶するのと同じくらい簡単だ。また、コンピュータにとっては2つの選択肢で十分でも、人間の記憶の仕組みにとっては、選択肢が多いほうが都合がよい。実際、人間にとって、記号の選択肢は想像力が生み出せる数だけある。しかし、タイプライターメーカーにとって幸運だったのは、言語を表わす記号としては、少数の文字しか使っていないことである。26個ずつの大文字と小文字のアルファベット、10個の数字、そして、文法の教師が一生を捧げるのに十分な種類の句読点である。これらの文字を2進法で表わすことにより、コンピュータは驚くほど有益なものになる。これらの文字すべてをコード化できる2の累乗の最小値は、128(2の7乗)である。また、8ビットのコードを使用すれば、最大256個のシンボルを表わすことができるようになり、(少なくとも英語を話す人にとっては)意味を持たない区分発音符(同一文字の発音方法を示すのに用いるマーク)や外国語の文字まで、すべて同じ8ビットコードで表わすことができる。このように、8ビットコードは便利だったため、8ビットはコンピュータの記憶装置の標準単位になった。これが、現在では普通に使用されている、**バイト**と呼ばれる単位である。

少なくとも、パーソナルコンピュータ革命が始まった当初は、エンジニアたちもユーモアのセンスを持っていたようで、1バイトの半分である4

ビットの記憶単位のことを、〝バイト〟をもじって〝**ニブル**〟などと呼んでいた*1。4ビットは16個のシンボルをコード化できるため、ちょうど10個の数字と、6種類の計算（足し算、引き算、掛け算、割り算、べき指数計算、ルート計算）を表わすことができ、携帯用の計算機などの、数字だけを使用する装置には有効な単位である。

ひとかたまりのビットを表わす用語として、一般に使用されているのが**ワード**で、このワードを構成するビット数は、コンピュータがそれを1つのグループとして使用するなら、いくつでもかまわない。しかしコンピュータの分野では、**ワード**という用語は特定の意味、すなわち、2バイトのデータ（16ビット）を表わす用語になっている。したがって、「ダブルワード」とは2ワード＝32ビットで構成されているということになる。

1個のビットを記憶するには、実際それが単独で存在しようと、あるいはニブルやバイト、ワード、ダブルワードの一部として存在しようと、コンピュータのメモリ上では同じ状態で記憶される。あるものが正しいか間違っているか、正数か負数か、2進数の1か0かといった、2つの状態のうちの、どちらかを保持するだけでよい。たとえば、大理石は2つの山のどちらにあるのか、マジパンは食べてしまったのか、あるいはまだ棚に飾られているのか、電気の電荷が存在するかしないかなど、いずれの場合も、どちらか1つの状態を記憶するだけでよい。

この場合唯一必要な条件は、記憶装置は2つの状態を記憶することができ、いったんそのどちらか一方の状態が記憶された後は、それをずっと保持し続けるということである。もし、メモリの要素が自分勝手に変わってしまうようなことがあると、本来変わらずに保存されるべき情報が、メモリ内で保持されていることを保証できず、メモリは何の役にも立たないことになる。

これらの条件に叶う記憶装置は、可能性としてはほとんど無限にあるといえるが、ビットをどのように扱うかによって、メモリの形式に実用性の差が生じる。2つの状態は、それを使用する際のメカニズムに係わらず、容易に変更でき、かつ容易に認識できなければならない。たとえば、目印として指に結び付けた紐は、人間がビットの状態を記憶する際の助けになるかもしれないが、コンピュータにとっては、情報を格納する手段としては不便である。この手段を記憶装置として使うには、それがどんな機械であれ、紐を結ぶための機械式の腕と、紐の結び目を検知するための手段――ビデオカメラ、精密なレーダー、ガスクロマトグラフィ装置など――が必要になるからである。

5.2 RAM

デジタルコンピュータでは、状態を電気的に記憶することができるため、紐や大理石、砂糖菓子をチェックするための〝目〟や〝手〟といったものは必要ない。電気的な状態を保持するこのシステムにおいては、2つの状態を電気の電荷の有無によって決めるか、電流の有無によって決めるかのいずれかの方法が利用できる。この2つの方法は、実際に一次記憶装置のコンピュータメモリに使用されている。

電磁気も、電気回路とコンピュータで容易に操作できる。事実、**コア**と呼ばれる磁気メモリは、第一世代のメインフレームコンピュータにおいては、主要な一次記憶装置であった。このような歴史から、頭の古い人たちの中には、現在でも一次記憶装置のことを、**コアメモリ**と呼んでいる人もいる。しかし今日では、磁気記憶装置は、おもに

*1　訳注　「バイト（byte）」は〝bite〟（かみつく）の同音異義語。「ニブル（nibble）」には、「ちょっとかじる」などの意味がある。

大容量記憶装置に使われている。これは磁気による記憶のほうが電気による記憶より、読み書きの際にステップが1つ余計に必要だからである。磁気記憶装置だと、ビットを記憶するときには電気を磁気に変換し、読み出すときには磁界を電気パルスに変換しなければならない。この変換のプロセスには、時間とエネルギーと労力が必要になる。これらはいずれも、長期にわたって（強い磁力で）保持する際には必要でも、コンピュータ内部で高い頻度で使用される場合には、少ないほうがよいものである。

一次記憶装置には、1つの重要な特徴がある。基本単位ごとに、任意のデータを即座に検索できるという点である。マイクロプロセッサは、必要なデータを見つける際に、膨大な量の連続したデータを順に読み進んでいく必要はなく、どの記憶単位にも、瞬時に焦点を合わせることができるのだ。この点から、このタイプのメモリは**ランダムアクセスメモリ**（Random Access Memory）と呼ばれている。それよりも。頭文字をとったRAMという呼び名のほうが一般的だろう。

ダイナミックメモリ

今日のパーソナルコンピュータに内蔵されている、最も一般的なメモリとしては、状態を記憶する方法として微小な電荷を使用するRAMが挙げられる。電荷は、小さな〝キャパシタ〟に格納されている。キャパシタは、基本的には、2枚の金属プレートの間のわずかな隙間に絶縁体を挟んだ構成になっている。金属プレートの一方に正電荷が加えられた場合、正負の電荷は互いに引き合うため、もう一方のプレートには負電荷が引き寄せられる。2枚のプレートを隔てている絶縁体は、電荷が混ざって互いに中和してしまうのを防止している。

蓄電プレートの一方に電荷を加えたり、電荷を取り除いたりすることは、コンピュータで制御できるため、キャパシタはコンピュータのメモリとしての役目を果たすことができる。デジタル情報を構成する1つの状態、つまり1ビットは、プレート上の電荷として格納することができるのである。

しかしながら、完全な世界であれば、キャパシタの2枚のプレートの電荷は、所定の場所に永久に留まっているのだが、現実の世界は不完全であるがゆえに、完全な絶縁体というものはない。いずれの物質でも、電荷がこっそり入り込んでしまう可能性が、つねに存在するのである。この可能性は、絶縁体が良質になるに従って低くなるが、それでも完全に電荷をシャットアウトすることは不可能である。さらに、キャパシタを充電したり放電させる回路によっても、若干の電荷が漏失してしまうのだ。

このように、長期にわたって情報を確実に保持することを保証できないのであれば、このシステムでは、メモリの基本条件を満たせないということになりそうだ。しかし幸いなことに、電荷が消えてメモリの信頼性が失われるまでの時間、すなわち、キャパシタを基本にしたシステムで記憶できる時間は、数ミリ秒というわずかなものだが、これでもメモリとして十分に役に立つのである。この数ミリ秒という時間は、コンピュータの世界では十分長い時間で、周期的にキャパシタを充電して、メモリをリフレッシュするように回路設計できるため、まったく問題ないのである。この方式によるメモリは、リフレッシュすることによって、定期的に記憶を維持する動作を行わなければならないことから、**ダイナミックメモリ**という名前が付いている。また、このタイプのメモリが集積化された回路部品を、**ダイナミックRAM**、略してDRAMチップと呼んでいる。

パーソナルコンピュータに使用されるメモリでは、金属プレートを持つ実際のキャパシタの代わりに、キャパシタのような働きをする、特別な半導体回路が使用されている。この多数の半導体回路が結合されて、ダイナミックメモリという集積回路チップが作られる。ただし、本当のキャパシタを使用したメモリと同様に、周期的にリフレッシュしなければならない点は、このダイナミックメモリも変わらない。

スタティックメモリ

ダイナミックメモリが、一瞬で消えてしまう電気を捕えて、所定の場所にそれを保持しようとするのに対し、**スタティックメモリ**では、状態を記

憶させておくために、経路に電流を流し続ける。記憶しておくべき状態は、2つある電流の移動経路のどちらか一方を使うことで記録される。スタティックメモリは、電流を流したり止めたりできるスイッチの仕組みで動作しているのである。

事実、スタティックメモリの動作は、ごく簡単な機械スイッチでも実現できる。しかし、そのようなスイッチの場合、ある位置からもう一方の位置へトグルするために、どうしても人間の手や、もしくはロボットなどの自動装置の力が必要になる。

これに対し、電気による制御が可能な**リレー**と呼ばれるスイッチがある。リレーは、初期のコンピュータのメモリに使用されたテクノロジーの1つである。リレー回路は、「ラッチ機能」を持っているのが一般的で、リレーに電圧を加えることによってリレーが動作し、これによって電気の流れが、止まった状態から流れる状態へ切り換わる。電気の流れの一部は、リレーのオン状態を維持するのに使用される。このようなタイプのリレー回路は、ドアの掛け金と同じで、信号という力が変化を生じさせるまで、つまり、ドア（すなわち回路）が開けられるまで、ロックされた状態を維持する。

スイッチの役目を果たすトランジスタを、ラッチとして働くように設計することもできる。スタティックメモリチップは、このトランジスタを多量に使用した回路を結合し、小型化して作られている。**スタティックRAM**は、コンピュータ関連の技術者の間では、SRAMと略して呼ばれることが多い。

5.3 ROM

リレーラッチとトランジスタラッチは、どちらもラッチされた状態を維持するには、つねに電流の供給を受けていなければならない。どちらも電流の供給が滞ると、ラッチが緩み、回路は記憶を失ってしまう。同様に、ダイナミックメモリも、定期的にリフレッシュされないと、記憶していた内容を忘れてしまう。どちらのタイプのメモリにしても、回路から電流を取り除くと、一瞬にして、保持していた情報は消失してしまい、後には何も残らないのである。この特性から、これらの電気に依存したメモリシステムは、**揮発性メモリ**と呼ばれている。電気の絶え間ない供給は、これらのメモリが、もとのままの状態を維持するのに必要不可欠なものである。これらのメモリは、電気を失うとともに、保持していた内容も失ってしまうのだ。

すべてのメモリが、保持する内容を変更できる性質を持っている必要はない。たとえば、初恋の思い出、12宮の星座の名前、化学の試験の答えなどのように、忘れずに憶えておきたいことはたくさんある。電源ラインの気まぐれの影響を受けずに、重要なことを特別に記憶しておくことができれば、コンピュータはもっと便利になる。コンピュータにおいて、これらの半永久的に記憶しておくべきことの中で最も重要なのは、プログラムコードであろう。プログラムコードは、マイクロプロセッサに対して、マイクロプロセッサがコンピュータの一部であるということや、その任務の実行方法を教えるものだからだ。

リレーという旧式の世界なら、ハンマーを注意深く使用してリレーを壊してしまえば、メモリをある状態に、永久に保つことができる。半導体の世界でも原理は同じだが、プログラミングの手段はいくぶん異なる。この場合唯一必要なのは、切り換えを行わないスイッチ、もっと正確にいえば、いったん電気が流れたら二度と動かなくなるスイッチである。

このような永久メモリは、コンピュータにとってたいへん有益であり、**読み出し専用メモリ**（ROM：Read Only Memory）と呼ばれて、様々な種類のものが開発されている。〝読み出し専用〟とは、このタイプの記憶装置は、インストールされている

コンピュータ側からは、新しいコードを記憶させることができないという意味である。そのメモリの中にすでに存在しているデータのみ、読み出すことができるのである。

このメモリに対して、マイクロプロセッサによって読み出しだけでなく、書き込みも行えるメモリを、**読み書きメモリ**というが、この用語はめったに使用されることはない。読み書きメモリは、RAMという名前で呼ばれるのが普通だ。

マスクROM

ROMチップに、コンピュータから書き込みが行えないとすると、ROM内部に格納する情報は、それ以外の場所から持ってこなければならない。**マスクROM**と呼ばれるメモリチップでは、情報は製造時に書き込まれる。〝マスク〞とは、製造時にチップ上に様々な回路要素を引くために使用される、マスタパターンのことだ。チップの回路要素をシリコンで構成するときに、記憶させたい情報をパターンの中に組み込む。ハンマーなどを打ち付けたり、何らかの同様の力で壊されない限り、このメモリに含まれている情報は何者によっても変更されることはない。

マスクROMは、パーソナルコンピュータの世界では一般なものではない。これは、チップの製造時にプログラムを決定しなければならず、変更も容易ではないからだ。また、製造の際に最低限必要とされる数量が多いため、あえて製造することが躊躇されるからである。

PROM

マスクROMに代わるものとして、**書き込み可能読み出し専用メモリ**(**PROM**:Programmable Read−Only Memory)がある。このタイプのメモリ回路は、ヒューズのような働きをする要素で構成されている。ヒューズとは、過度に多量の電流が流れると、オーバーヒートして溶けて電流の流れを中断し、装置や配線の負荷がかかり過ぎるのを防ぐもののことだ。通常、PROMのヒューズは、家庭の電気事故を防ぐヒューズとまったく同じように電気を伝える。また、ヒューズが飛ぶと電気の流れが止まるという仕組みも、普通のヒューズと同じである。ヒューズを切るために必要な電流は、「PROMプログラマ」とか「PROMバーナー」と呼ばれる、特別な装置によって供給される。PROMチップは、すべてのヒューズが無傷のままで製造、出荷され、後からチップ内部にコード化するソフトウェアの必要に合わせて、PROMプログラマを使用してヒューズを切り、一定のアプリケーション用にカスタマイズする。このプロセスを、一般に「PROMを焼く」といういい方をする。

大火事と一緒で、PROMを焼くことによって生じる結果は、永久不変である。PROMチップは、いったん焼いて書き込まれた内部のプログラムを、更新したり修正したりすることは一切できない。PROMが、移り気な人や、移り変わりの激しい業界用のものでないことだけは明らかだろう。

EPROM

しかし幸いなことに、新たな技術によって、PROMに代わる便利なものが生まれた。**消去書き込み可能読み出し専用メモリ**(**EPROM**:Erasable Programmable Read Only Memory)チップである。EPROMは、一種の自然治癒半導体のようなものであり、内部データは消去可能で、新たなデータやプログラムを繰り返し書き込むことができる。

EPROMは、パッケージの上部中央に透明な窓があり、チップ内のデータは、この窓から入る強い紫外線の光によって簡単に消去される。このため、通常この窓は、ラベルのようなもので覆われている。うっかりこの窓から光が入り込むようなことがあると、チップのデータは一瞬のうちに消えてしまうのだ(普通の部屋の明かりには紫外線がほとんど含まれていないため、これでチップのデータが消えてしまうことはないが、日光の場合は紫外線が含まれているので、EPROMのデータを消すことができる)。EPROMは汎用性があり、永久メモリでありながら、再プログラミングも簡単に行えるため、多くのパーソナルコンピュータで使用されている。

EEPROM

EPROMの一種であるメモリチップに、EEPROM

(Electrically Erasable Programmable Read－Only Memory、普通は〝ダブルE－PROM〞と呼ばれる）がある。EEPROMは、データを消去するのに紫外線の強い光源は必要なく、通常より高い電圧（および電流）があればよい。電気で消去できるという性質はとても有益である。というのは、このおかげで、EEPROMはソケットから外さなくても、消去して再プログラミングできるからだ。EEPROMは、コンピュータやその周辺機器のような電気デバイスに、電気を絶え間なく供給しなくても、データを格納できる手段を与えたのである。

EEPROMには1つ重大な欠点がある。消去できる回数が制限されているのだ。大抵のEEPROMチップは、数十回、数百回、数千回といった程度の消去と再プログラムの繰り返しには耐えられるが、一度の使用で数千回もの変更を行う可能性のあるコンピュータの記憶装置としては問題がある。さらに、EEPROMチップのデータの消去方法がこの問題を悪化させている。好きなときに、どのビットでも変更できる普通のRAMチップとは違って、EEPROMの書き換えは、一旦すべての内容を消去してから、すべてのビットを再度書き込み直すという方法で行われるのである。つまり、EEPROMの場合、どれか1つのビットを変更するだけで、すべてのビットの寿命を1回分減らさなければならないのである。

フラッシュRAM

EEPROMにさらに改良を加えたのが、**フラッシュRAM**である。フラッシュRAMは、消去の際に特別な高電圧は必要なく、コンピュータ内部の通常の電圧で消去、書き込みができる。しかし残念ながら、フラッシュRAMもEEPROMと同様の制約がある。普通のEEPROMよりは長いが、寿命に限界があり、すべてではないがほとんどの場合、ブロック単位で消去と再書き込みを行わなければならないのである。

それでもフラッシュRAMは有用で、多くの会社がフラッシュRAMを使ったディスクエミュレータを開発している。ただし、これらのエミュレータは、操作を最大限に効果的にし、寿命を最も長くするために、消去と再書き込みの反復回数を最小限に抑える、特別なオペレーティングシステム（あるいは普通のオペレーティングシステムで、これに対応したバージョン）が必要である。

5.4　メモリの働き

メモリのタイプにかかわらず、つまり、RAMであろうとROMであろうと、あるいはダイナミックメモリであろうとスタティックメモリであろうと、また消去可能タイプであろうとフラッシュメモリであろうと、その働きの仕組みは同じである。メモリは基本的に、郵便局で市内郵便を分類するのに使用されている整理棚を、精巧にしたようなものである。**アドレス**と呼ばれるメモリロケーションが、格納される情報の最少構成要素のひとつひとつに割り当てられている。各アドレスは、整理棚の「ます」に相当し、アドレスは1単位ごとの記憶場所の位置を表わしている。ただし、アドレスは呼び名のようなもので、それ自身は記憶場所ではない（実際には、小さな電子キャパシタ、電子ラッチ、電子ヒューズなどが記憶場所になる）。

アドレスは、ほとんどの場合バイナリコードで表わされるため、コードに使用できるビット数によって、直接アクセスできるアドレス数が決まる。たとえば、8ビットのアドレスコードなら256（2の8乗＝256）のメモリロケーションが可能であり、同様に16ビットのアドレスコードでは16,256（2の16乗＝16,256）の位置を個別に特定できるわけだ。使用可能なアドレスコードのビット数は、マイクロプロセッサのアドレスラインの数と一致するのが普通だが、実際にはそれほどの数は必要ない。

各メモリロケーションに格納されるデータの量

は、基本となる記憶単位によって決まり、その記憶単位はコンピュータシステムの設計によって決まる。一般的に、各ロケーションには、コンピュータが1回で処理するのと同じ数のビットが含まれる。したがって、8ビットコンピュータ(初代のPCなど)では1バイト、32ビットマシンではダブルワードが1つのアドレスに保管されるわけである。

現在、Intelの32ビットマイクロプロセッサ(386と486)が個別にアドレス指定できる最小単位は、実際には4ダブルワード、つまり16バイトで、Intelはこの単位を〝**1メモリライン**〟と呼んでいる。これらのコンピュータは、下位4本のアドレスラインは無効になっているので、これより小さなメモリ単位を個別にアクセスすることはできない。

IBMの標準に従っているコンピュータのほとんどは、実際には記憶単位として、前述の例よりも多くのビットを使用している。IBMは**パリティチェックビット**と呼ばれる特殊なビットを、すべてのバイトに追加している。このパリティチェックビットは、メモリに格納されたデータが完全な状態であることを、コンピュータが照合するために用意されているものである。1バイトがメモリに書き込まれるとき、そのデータが格納されている8個のビットとパリティチェックビットの合計が、つねに奇数か偶数のどちらかになるように、パリティチェックビットの値は1か0にセットされる。メモリが読み出されるたびに、コンピュータは各バイトの9個のビットを合計し、合計の奇偶が変化していないかどうかを検証する。万一合計の奇偶が変わっていると、バイトの中のあるビットが、何らかの理由で変化したことが分かるため、記憶されているデータは無効にされる。

誤ったデータをそのまま保持しておくと、たとえば、間違った額の給与が支払われる、間違った在庫数が報告される、壊れかかった橋が造られる、といったような可能性もでてくる。IBMは、システムが壊れることによって情報を失うことよりも、この方が問題が大きいと考え、ほとんどのコンピュータを、間違ったパリティが発見されたら、即座にシャットダウンする設計にしている。システムが、マザーボード上のメモリに間違ったパリティを発見すると、システムは自動的にモニタ画面に〝Parity Check1〟という不吉なメッセージを表示し、システムの動作をストップする。拡張ボード上のメモリに同様のエラーを発見した場合は、同様の処理がなされ、〝Parity Check2〟と表示される。

パリティチェックでは、1バイトの中のどれか1ビットがエラーを起こしていることしか検出できない。しかし、もっと精巧なエラー検出回路があれば、もっと複雑なエラーも検出できる。さらにその回路が適切に搭載されていれば、システムをダウンさせることなく、1個のビットのエラーを修正することも可能である。Error Correction Code (ECC)と呼ばれる回路は、その最も効果的な方法で、1バイトごとに3ビットを加えることによって、システムはメモリエラーが発生したことが分かるだけでなく、変化した1個のビットの位置を見つけて、エラーを取り除くこともできる。

IBMでは、PCよりも大型のコンピュータにECCを採用している。IBMのエンジニアは、PCのメモリは小さく、十分に信頼性もあると考え、ECC用のビットのために費用が余分にかかってしまうのは不適当と判断したのである。しかし現在では、システム全体のメモリ容量は16Mを超えて拡張されており、いくつかのパーソナルコンピュータでは、メモリシステムにECCが標準装備されている。

メモリチップは、マイクロプロセッサのアドレスラインには直接接続されていない。代わりに、専用の回路から成るメモリコントローラがあって、メモリアドレスレジスタに送られる2進数データを、要求されたメモリロケーションを表わしたり、そこにあるデータを検索できる形式に変換している。メモリコントローラには、簡単なアドレス解析を行う論理回路から、いくつかのメモリ拡張機能を備えた精巧なASICチップまで、さまざまな形態のものがある。

メモリを読むとき、マイクロプロセッサは、必要なメモリロケーションに対応するアドレス値を、1個のクロックサイクルの間にアドレスラインに出力する。この動作は、メモリコントローラに対して、必要なデータを見つけるように要求する役目を果たしている。メモリコントローラは、その

次のクロックサイクルの間に、要求されたロケーションに格納されているデータを、マイクロプロセッサのデータバスに出力する。メモリコントローラは、クロックサイクルの終わりでないとアドレスコードが有効であることを判断できない。同様に、マイクロプロセッサは次のクロックサイクルの終りまで、データが有効であることを確認できないため、メモリの読み出し動作には、少なくとも2クロックサイクル必要である。

メモリへの書き込みも同様に行われる。つまり、マイクロプロセッサは最初に書き込むべきアドレスを送り出し、メモリコントローラが整理棚の中からそのアドレスに対応する「ます」を見つけると、マイクロプロセッサが書き込むデータを送り出すのである。また、必要な最小時間がクロックの2サイクル分である点も同じである。

しかし、マイクロプロセッサのテクノロジーが、今日のDRAMチップの能力をはるかに超える性能にまで押し進められたため、読み出しや書き込みは、実質的には2サイクルより長い時間がかかる場合がある。遅いシステムメモリを使っていると、マイクロプロセッサやそのほかの部分は、メモリが追い付くまでの間停止しなければならず、メモリの読み書きサイクルを1クロックもしくはそれ以上引き伸ばすことになる。

5.5　メモリスピード

メモリスピードが遅い問題は、IBMが286マイクロプロセッサを搭載する、最初のATマシンを発表した時点で明らかになった。普通のメモリチップでは、このマイクロプロセッサの速さ（1984年では標準的）に付いていくことができなかったのである。286側が、かなり短い命令サイクルでデータを要求できるのに対し、メモリはそれに応じることができない。このため、マイクロプロセッサがメモリにデータを要求するときに、**ウェイトステート**（待ち状態）を追加する必要があったのだ。

ウェイトステートは、メモリが回路に追いつく時間を与えるために、マイクロプロセッサが、実行中の作業すべてを1クロックサイクル以上の間中断する状態である。必要なウェイトステートの数はシステムごとに変わるが、これは、メモリの速度とマイクロプロセッサの速度の関係によって決まる。

マイクロプロセッサの速度は、通常MHz単位で表わされる。これに対し、メモリチップの速度はナノ秒、つまり1兆分の1秒という時間の単位で表される。この2つの単位は互いの逆数である。1MHzの速度の場合、1クロックサイクルは1,000ナノ秒である。8MHzは125ナノ秒、16MHzは62.5ナノ秒、20MHzは50ナノ秒、25MHzは40ナノ秒ということである。

DRAMチップには決められた定格速度があり、チップのパッケージに記されるモデル名の後ろに、その値を示す数字が付いているのが一般的である。この数字は、チップのアクセス時間をナノ秒で表わしたもので、1桁目の〝0″は、表示を短くするために省略されている。したがって、〝−12″と表示されているチップは、アクセスタイムが120ナノ秒ということである。

これがチップの速度にとって長所を表わす数だったら、今日のコンピュータのほとんどは何の問題もなかっただろう。しかし、現実には、この速度によって大きな問題が生じたのである。たとえば、25MHzでは1クロックサイクルは40ナノ秒であり、マイクロプロセッサはメモリ操作に少なくとも2サイクル必要なので、合計で80ナノ秒必要ということになる。一方、70ナノ秒の定格のチップは、入手も容易で値段も比較的安い。一般に、マイクロプロセッサが要求する速度より速いチップをインストールしても問題はない。たとえば、80ナノ秒の部品が必要なシステムに70ナノ秒のチップを搭載してもよい。唯一の弊害は、高速な

チップは概して値段が高く、必要のない速度にお金を払うことになってしまうということだけである。逆に、要求される速度より遅いチップを使用すると、まったく動作しないか、多くの場合は散発的にしか動作しないため、突発的に発生するパリティチェックエラーに対して、抵抗力のない状態になってしまう。

しかし、アクセス時間は、メモリチップの速度を表わす値として、唯一のものでも、また最も重要なものでもない。メモリチップの速度をもっと適切に表わしているのは、サイクル時間である。サイクル時間は、同一のチップに対して2回の連続アクセスをどのぐらいの間隔で行うことができるかを測定したもので、一般にサイクル時間はアクセス時間の約2倍から3倍である。したがって、70ナノ秒のDRAMチップでも、25MHzのコンピュータでは信頼性のある使用は不可能ということになってしまう。

スタティックRAMチップは、リフレッシュする必要はまったくない。このため、このチップのアクセス時間はサイクル時間と同じであるほか、アクセス時間そのものもDRAMチップよりも短いのが一般的だ。最も高速で一般的なDRAMチップの定格が60～70ナノ秒であるのに対し、スタティックチップは25～35ナノ秒のものが容易に入手できる。ただし、残念ながら、スタティックチップはDRAMよりかなり高価なため、コンピュータの一次記憶装置として使用されることはまれである。

DRAMメモリチップの速度制限の対策として、コンピュータメーカーは自社のメモリシステムに様々な設計を採用している。最も単純な方法は、可能な限り高速なチップを使用することだが、現在最も高速なDRAMチップでも、50MHzや66MHzのマイクロプロセッサの速さには遠く及ばない。これ以外にとりうる対策は、必要なだけウェイトステートを挿入することだが、これは、高速化を目指していることに逆らって、速度を落とす結果になる。1つウェイトステートを課すことで、通常のメモリサイクルが2サイクルから3サイクルに伸びる。これは性能にとって大きな打撃だ。1つウェイトステートが課されると、コンピュータは、最高速度の3分の2の速さでしか動作できなくなるのだ。さらにウェイトステートが2個になると性能は半分になってしまう。

ページモードRAM

メモリがマイクロプロセッサの速度に追い付かなくなる問題の解決方法は、メモリの技術開発に目を向けることによって、見出すことができる。ダイナミックメモリとスタティックメモリの特長を兼ね備えた特殊なRAMチップがあれば、ウェイトステートによって損なわれる性能の影響を少なくすることが可能だ。このような方法として、2つの応用技術がコンピュータに使用されている。**ページモードRAM**と**スタティックカラムRAM**である。

ページモードRAMチップでは、ウェイトステートなしで記憶情報の一部分（全部ではない）を読み出すことができる。このチップはアドレッシング範囲全体を、「ページ」と呼ばれる小さなセクションに分けており、各ページはウェイトステートを課されることなく、個別に繰り返しアクセスすることができる。異なるページ間での連続アクセスにはウェイトステートが必要になるが、同じスピードの標準DRAMが必要とするほどではない。

スタティックカラムRAMチップでは、メモリは横列と縦列に分割され、縦の同一列内の連続アクセスは、ウェイトステートなしで行うことができる。一方、2列にまたがって実行されるメモリアクセスにはウェイトステートが必要となる。

技術的には、ページモードRAMとスタティックカラムRAMは別個のものである。スタティックカラムRAMの配列では、メモリは論理的に二次元配列としてレイアウトされており、連続したメモリビットは、縦の同一列内の隣接した横列に並べて配置される。一方、ページモードRAMチップは、チップ全体の領域を、通常1ページあたり2Kビットの容量を持つ何枚ものページに細分している。これら2種類のチップは、このように物理的な差異があるにもかかわらず、ほとんどの実用的なアプリケーションでは、まったく同じ結果を生じる。つまり、どちらのチップも、一定範囲内で繰り返されるアクセスなら、ウェイトステート

なしで実行できるのである。コンピュータの動作では、ほとんどの時間、プログラムが順番にデータを必要とする（次の命令コードや隣り合うデータを要求する）ことを考えると、ウェイトステートを削減するこれら2つの技術は、このようなプログラムにとくに有効であるといえる。この場合、60%以上のウェイトステートの削減が簡単に達成できる。

スタティックカラムメモリやページモードメモリを使ったシステムの性能は、使用されるページまたはカラムのサイズによって決まる。ページのサイズが大きくなれば、メモリの次のビットが、そのページの中に存在する可能性が高くなり、したがって、ウェイトステートなしで読み出せる可能性が高くなる。この場合、性能が劇的に向上する可能性がある。大抵のプログラムでは、実行時間の大半は、2Kビットのページの範囲内で実行されている。したがって、システムの全体的な性能は、システムのRAMをすべてスタティックRAMにした場合と同程度の速度にまで向上する。

バンクメモリ

インタリーブメモリと呼ばれる巧妙な技術は、逐次のメモリアクセス時にスピードが向上する点では、ページモードRAMに似ているが、分割するページは小さなサイズに制限されない。インタリーブメモリは、システムのRAM全体を2個以上のバンクに分割することで動作している。連続したビットは、2個以上のバンクに分かれて格納されるため、マイクロプロセッサが逐次バイトを読む場合は、バンクの間を行き来することになる。1つのバンクが読まれている最中も、ほかのバンクを循環して次のビットを読んでいくため、マイクロプロセッサが待機せずに済むのである。もちろん、マイクロプロセッサが、論理的に隣接していないビットを読む必要が生じた場合は、マイクロプロセッサがウェイトステートに出会うかどうかは確率の法則に左右される。

典型的なインタリーブメモリのシステムでは、システムRAMは2バンクに分けられているため、ウェイトステートに出会う確率はおよそ50%である。4ウェイインタリーブならウェイトステートを75%減少させることができる。

インタリーブメモリは特殊なメモリチップを必要としないため、システム動作をスピードアップさせる方法の中で、最も現実的なものといえるだろう。また、メモリインタリーブの技術とページモードRAMとを組み合わせることで、システムの性能を一層向上させることも可能である。もちろん、2ウェインタリーブを構成するには、偶数個のメモリバンクが必要である。現在の32ビットマイクロプロセッサの場合、1バンクの最小容量は通常4Mバイトである。したがって、このようなシステムでは、単純な2ウェインタリーブを行うには8Mバイト、4ウェイインタリーブには16Mバイトのメモリを必要とする場合が多い。

メモリキャッシュ

現在、最も高性能なマイクロプロセッサに採用されているメモリ最適化（高速化）技術では、**メモリキャッシュ**が最も一般的である。メモリキャッシュでは、マイクロプロセッサと一次記憶装置の大部分との間に、1組の高速なメモリ（通常は高速スタティックRAM）が設けられる。**キャッシュコントローラ**と呼ばれる特殊な回路は、このキャッシュメモリ内に、マイクロプロセッサが次に要求する確率が最も高いデータまたはインストラクションを、常時格納させようとする。マイクロプロセッサが求める情報が、キャッシュのSRAMの中に保持されていれば、その情報はウェイトステートなしで読み込むことができるのだ。この最も高速な動作ができる状態を**キャッシュヒット**という。一方、必要なデータがキャッシュメモリにない場合は、通常のRAMから通常のアクセス速度で検索されることになるが、この状態を**キャッシュミス**という。メモリキャッシュにも様々なものがあり、それぞれは、サイズ、論理的な配列、ロケーション、動作の点に違いがある。

キャッシュの効果は、キャッシュが保持できる情報の量によっておおむね決まる。キャッシュのサイズが大きくなれば、そこに含まれるデータも多くなり、必然的に、必要なときに必要なバイトがそこにある確率も高くなるわけだ。最も理想的なキャッシュのサイズは、システムメモリ全体と同

じ大きさで、システムメモリを完全にコピーしたものであることは明らかだが、同時にそのように大きいキャッシュでは意味がなくなる。一次記憶装置としてキャッシュそのものを使うことができるなら、そもそも何の問題もないのである。一方、最小のキャッシュサイズは1バイトだが、この場合キャッシュ内に、次に必要なデータがないことは確実であり、これもまた意味がない。実用的なキャッシュの容量は、8Kバイト(486マイクロプロセッサが内部的に使用しているものと同じ大きさ)から1Mバイトで、現在では256Kバイト前後のキャッシュがよく使用されている。

容量の大きいキャッシュの欠点は、コストである。高速なSRAMチップは必然的にコストが高く、これを使用すればシステム全体のコストが上昇する。このため、メーカーの中には、最初は小さなキャッシュを搭載しておき、後で余裕ができたときにユーザー自身がSRAMを追加できるように、増設可能なキャッシュをオプションにしているところもある。新しい486マシンを買った後で、いずれはキャッシュを可能な限り拡張してみたいと思っている人なら、こういうシステムは検討の価値があるだろう。

キャッシュの論理的な構成には、キャッシュ内のメモリの配置の方法や、アドレスの方法が含まれる。つまり、マイクロプロセッサが、キャッシュ内に必要とする情報があるかないかを調べる方法のことである。この方法は大きく3つの種類に分れる。**ダイレクトマップ方式**、**フルアソシエイティブ方式**、**セットアソシエイティブ方式**である。

ダイレクトマップキャッシュは、高速なSRAMのキャッシュを「ライン」と呼ばれる小さな単位(Intelの32ビットマイクロプロセッサが使用する記憶装置の「ライン」と同じ)に分割するもので、各ラインはインデックスビットで識別される。メインメモリは、キャッシュと同じサイズのブロックに分割され、キャッシュのラインはそのメモリブロック内の各「ロケーション」に対応している。各ラインは異なるメモリブロックから引くことができるが、キャッシュのロケーションに対応したロケーションに限られる。どのブロックからラインが引かれているかは「タグ」で識別される。キャッシュコントローラ(常時キャッシュを監視している電子回路)にとっては、ダイレクトマップキャッシュに特定のアドレスのデータが格納されているかどうかを判断するのは簡単である。決まったインデックスの値に対するタグをチェックするだけでよいのだ。ダイレクトマップキャッシュに伴う問題は、異なるブロックに存在する、同じインデックスを持った複数のアドレス間を、プログラムが規則的に移動すると、キャッシュを絶えず書き換えなければならないという点である。これはキャッシュミスが頻発することを意味する。こういう動作がつねに起こるわけではないが、ダイレクトマップキャッシュの速度を低下させるのは確かだ。

これと反対の設計方法が、フルアソシエイティブキャッシュである。この設計では、キャッシュの各ラインは、メインメモリのどの部分にでも対応させせることができる。メインメモリ全体の様々なロケーションから引かれたデータは、キャッシュの中に連続して溜め込むことができる。フルアソシエイティブ方式の大きな欠点は、マイクロプロセッサからのメモリ使用要求がヒットかミスか判断するために、キャッシュコントローラが、キャッシュのすべてのラインのアドレスを照合しなければならないことである。

ダイレクトマップキャッシュとフルアソシエイティブキャッシュを折衷した方式が、セットアソシエイティブキャッシュである。これは、キャッシュメモリ全体をいくつかの小さなダイレクトマップエリアに分割するもので、分割する個数(way)が名前の頭に付けられて表わされる。たとえば、「4ウェイセットアソシエイティブキャッシュ」といえば、4個の小さいダイレクトマップキャッシュに相当するものである。この方式を採れば、同一のインデックスで異なるブロック間を移動する場合の問題が解決できる。ということは、セットアソシエイティブキャッシュは、ダイレクトマップキャッシュより性能の点で多くの可能性を持っているということになるが、残念ながら、セットアソシエイティブキャッシュは複雑で、搭載するには費用が高いという問題がある。さらに、キャッシュを分割する数が多くなるに従い、キャッシュ内部に必要な情報が存在するかどうかを決定するために、

キャッシュコントローラが行う検索の時間も長くなる。これは結果としてキャッシュの速度を低下させることになり、セットに分割する利点もなくなる。ほとんどのコンピュータメーカーでは、4ウェイセットアソシエイティブキャッシュが性能と複雑性の間における適当な妥協点であるという結論に至っている。

キャッシュは、マイクロプロセッサに内蔵される場合と、外部に搭載される場合がある。内部キャッシュは**一次キャッシュ（プライマリキャッシュ）**と呼ばれ、486シリーズのマイクロプロセッサの8Kバイトのキャッシュのように、マイクロプロセッサの回路内に組み込まれる場合が多い。一方、**外部キャッシュ（セカンダリキャッシュ、二次キャッシュ）**は、外部キャッシュコントローラとメモリチップを使用する。一次キャッシュは、マイクロプロセッサの内部回路に直接接続されるため、二次キャッシュよりもスピードアップの可能性が大きい。たとえば、486マイクロプロセッサでは、内部キャッシュとマイクロプロセッサの間のデータパスは、1ライン（16バイトすなわち128ビット）の幅がある。キャッシュとマイクロプロセッサ間の転送に2サイクル必要である点は変わりないが、この2サイクルの間に16バイトも転送できるわけである。これに対し、外部キャッシュの場合は、486マイクロプロセッサには32本のデータラインしかないため、同じ128ビットでも転送に必要なサイクル数は4倍（8サイクル）になる。

このため、二次キャッシュの中には、128ビットのバスを持つものがある。これにより、486の効率的なアドレッシングモードを利用して、アドレスサイクルをはさまずに、4回の連続したデータ転送が可能になる。つまりこの場合は、キャッシュデータをマイクロプロセッサに転送する際に要するサイクル数が、8サイクル（4回のアドレス指定と4つのデータサイクル）ではなく、5サイクル（1回のアドレス指定と4回のデータ転送）なのである。しかしそれでも、内部キャッシュのほうが、この先進のアドレッシングモードよりも2対5の割合で性能が優っている。

一次キャッシュの欠点は容量にある。486マイクロプロセッサの8Kの内部キャッシュは、チップ面積のおよそ3分の1を占める。マイクロプロセッサを大きくすると、製造費用が恐ろしく高額になるため、これは大きな問題である。

一次キャッシュは、機能的にはインストラクションキャッシュとデータキャッシュに分かれている。インストラクションキャッシュは、マイクロプロセッサのインストラクションのみを格納し、データキャッシュはデータのみを保持している。このように機能を分離することで、性能全体を向上させることができるため、Motorolaのいくつかのマイクロプロセッサでは、この方法が効果的に用いられている。Intelの486は、データとインストラクションで1個のキャッシュを共用している。

キャッシュは、メモリへの書き込みの処理方法でも分類できる。ほとんどのキャッシュは、書き込み動作のスピードアップはせず、書き込みコマンドをキャッシュで即座に実行し、キャッシュとメインメモリに同時に（通常のウェイトステートによる遅れはあるが）書き込みを行っている。この**ライトスルーキャッシュ方式**は、メインメモリとキャッシュの内容が一致していることが絶えず保証されている点で、確実な方法といえよう。

これに代わる高速な方法が**ライトバックキャッシュ方式**である。この方法では、マイクロプロセッサがキャッシュメモリに変更を書き込み、キャッシュコントローラは時間の許す限り、その変更をメインメモリに書き戻すということが行われる。ライトバックキャッシュで問題が生じるのは、メインメモリとキャッシュが、同じメモリロケーションに割り当てられている異なる内容を保持する場合である。たとえば、マイクロプロセッサが関与しない制御システム（DMAシステム）で、ハードディスクの読み出しとメモリへの情報の転送が行われる場合などがこれにあたる。キャッシュコントローラは、メインメモリの内容に変更がないかどうかを絶えずチェックし、キャッシュの内容がメインメモリの変更に対して同様に変更されていることを確認しなければならないが、この「スヌーピング機能」をコントローラに持たせると、コントローラの設計は複雑になり、当然チップの値段も高くなる。とはいえ、最大限の性能を実現するためには、ライトバックキャッシュは最適な設計

といえるだろう。

この解決策として採用されているのが、キャッシュを監視する全責任を、それ用に設計された専用回路に任せる方法である。コンピュータを取り巻く市場には、たくさんの種類のキャッシュコントローラチップがあり、また、チップセットの中にも、メモリキャッシュ機能を自らの回路に組み込んでいるものがある(8章参照)。

ビデオメモリ

メモリアクセスの問題は、とくにビデオシステムに見られる傾向がある。ディスプレイシステムにおいて、メモリは、画面上のイメージを各画素に割り当てられたメモリ単位(1ビットか1バイト、あるいは数バイトの場合もある)で、デジタル形式で格納するフレームバッファとして使用される。格納されているイメージがモニタの画面に表示されている間、フレームバッファの全内容は1秒間に44~75回読み出されている。そしてその間も、コンピュータは、画面に表示させたい新しい画像の情報を、バッファに書き込もうとしているはずである。

普通のDRAMチップを使用すると、これらの読み書き動作は同時に実行できない。2つの動作は、かならず互いに相手の動作が完了するのを待たなければならない。この待ち状態は、ビデオの性能、システムのスピード、そして実際の操作感にマイナスに作用する。

このウェイト(待ち状態)は、斬新な設計の工夫を施した特殊なメモリチップを使用することによって回避できる。このメモリチップには、ひとつひとつの格納場所にアクセスするパスが2つあり、この2つのパスを使用して、2つのドアがある倉庫のように機能する。マイクロプロセッサは、ビデオシステムが一方のドアから倉庫の中のデータを取り出している間、もう一方のドアから倉庫の中へデータを入れることができる。正確にいえば、このメモリは2つの形態をとることができるのだ。本当のデュアルポートメモリは読み書きが同時に行える。つまり、ビデオメモリチップ(ビデオRAM、略してVRAMと呼ばれる)では、一方のアクセスポートは、完全に読み書き両方のランダムアクセス用にあてられ、もう一方は、逐次読み出ししか行わないようになっている(ビデオイメージはスキャンニングが必要なため)。

メモリの配置

半導体技術ではなく、システムの設計に起因するメモリスピードの問題もある。メモリの配置場所や、マイクロプロセッサへの接続方法が、メモリの性能に劇的に影響を与えることがあるのだ。

メモリは、マイクロプロセッサのローカルバスに接続されるのが普通である。これは、メモリがマイクロプロセッサと同じクロックスピードで動作し、マイクロプロセッサのデータバスと同じ幅でバスと接続されているということである。メモリを拡張する十分なスペースがない多くのマザーボードでは、拡張メモリをドーターボードの形で搭載している。このドーターボードとマザーボードの接続は、マイクロプロセッサと同じスピード、同じバス幅で動作する専用の接続を用いる方法でも、ISAやEISA、マイクロチャネルのような標準拡張バスを介する方法のどちらでも可能である。

前者のメモリボード(**専用メモリボード**と呼ばれる)は、一般に拡張メモリの性能に不利益を及ぼすことはないが、後者の形式のボードでは、8MHzのAT互換機以上の性能を持つシステムすべてで、大きな不利益が発生する可能性がある。高速なマシン(8MHz以上の速度で動作するマイクロプロセッサを搭載したもの)は、拡張スロットの形でメモリが追加されると、厳しい弊害を被るのだ。これは、マイクロプロセッサが高速化されているにもかかわらず、スロットは通常8MHz程度の速度で動作するため、このアドインメモリにアクセスする際には、システムのスピードを8MHzにまで減速しなければならないからである。たとえば、66MHzのマシンの場合など、拡張ボードのメモリにアクセスするときには、8分の1まで減速しなければならない。

また、386DXや486マイクロプロセッサでは、16ビットの幅しかないISAバススロットにメモリを接続すると、システムはさらなる減速が強いられる。メモリバスはマイクロプロセッサのデータバスの幅の半分しかないため、メモリからマイ

クロプロセッサへのデータ転送は、マザーボードや専用メモリボードが使用する32ビット接続の2倍の時間が必要になる。

十分な性能を望む場合は、8MHzのATより高速なパーソナルコンピュータでは、通常の拡張スロットには、メモリを接続しないのがあたりまえになっている。しかし、ほかに何も拡張をしていない場合や、最速のメモリスピードを必要としないアプリケーションを使用している場合、あるいはすでに拡張メモリボードを持っている場合など、いくつかのケースでは、拡張スロットにメモリを接続する意味があることもある。

いくつかのコンピュータでは、マザーボードに拡張できるメモリ容量に制限があり、拡張スロット以外には、もうメモリを追加する余地がない場合もある。また、専用のメモリ拡張ボードを使用するシステムボードを持っているのに、メーカーが連絡の取れない所にあったり、廃業していたり、あるいは、そもそもボードを製造して欲しいという要求がないために、必要な専用ボードが入手できないなどということは、よくある話だ。

もし、プログラムのコンパイルやデータベースの分類をスピードアップするために、RAMディスクだけが必要なら、拡張ボードメモリで十分だろう。このようなRAMドライブは、マザーボードのメモリを使った場合ほどは速くはないが、それでも機械的なディスクドライブとは比較にならないほど高速に動作できるのである。

すでにメモリ拡張ボードを持っていて、そのボードが自分のコンピュータで使えるなら、もちろんそれを使えばよい。拡張ボードのメモリのアドレスが、システムボードメモリよりも上位のアドレスから始まるように設定しておけば、アプリケーションは最後にそのメモリを使用するので、動作速度の減速という事態が生じるのを、プログラムが、この最後のメモリ領域を使用したときだけに限定することができる。たしかに、このときには性能が損なわれるが、メモリを拡張しなければ使用できないソフトウェアも、とりあえずこれで走らせることができる。

さらに、Windowsのような仮想メモリ技術を利用している環境の場合でいえば、機械的なディスクドライブでエミュレートされる仮想メモリに比べれば、遅いスロットに接続されたメモリのほうが性能は優っている。したがって、このようなスロット接続のメモリは、理想的な解決法とはいえないまでも、実用可能な限りにおいては、満足できる方法といえよう。

5.6　メモリの論理構成

同じ種類のチップで作られているメモリでも、そのすべてがコンピュータ内部で同じように働くわけではない。プログラムの中には、利用できるメモリ容量の一部分しか使用できないように制限されているものもあるし、どんなプログラムからも使用できないメモリもある。

当然、メモリの制御は、コンピュータのベースになっているマイクロプロセッサによって決まる。しかし、数年間にわたり、パーソナルコンピュータに使用されたIntelのマイクロプロセッサは、自らのメモリ処理能力を劇的に向上させてきた。7年も経たない間に、マイクロプロセッサが達成したアドレス範囲の限界は4,000倍にもなり、実際に書かれたプログラムだけでなく、想像上のものまで含めて、すべてのプログラムが必要とする容量をはるかに超えた（少なくとも現時点においては超えている）。

しかし、コンピュータもアプリケーションも、マイクロプロセッサのメモリ処理能力に歩調を合わせていくことはできなかった。このように、マイクロプロセッサのメモリ能力と、それ以外の部分の性能が乖離する事態が生じてしまった理由は、最初のPCを作る際にIBMによって決められた、いくつかの気まぐれな設計に関係がある（とはいっ

ても、IBMの決定の根本にある本当の理由については、個人の想像の域を出ないが)。ユーザーは、新しいコンピュータは古いコンピュータと互換性があり、同じプログラムが走り、同じ拡張用のハードウェアのほとんどが使えることを期待している。この、互換性に対しての期待に応えるために、最初のPCのメモリシステムが持つ欠点と制限は、そのまま後世代のコンピュータにまで引き継がれてしまった。IBMのパーソナルコンピュータは、この下位互換性を犠牲にすることなく、ちぐはぐな改良によって新しい能力が加えられたが、それがPCの過去のメモリをいっそう混乱させてしまった。結果としてPCは、異なる容量と異なる互換性(ほとんどのアプリケーションで使えるメモリもあれば、ごく少数のアプリケーションにしか役に立たないメモリもある)によって、階層化されたメモリタイプの間で立往生している。時代と共に改良されていくのではなく、進化の度にメモリは複雑になっていくのだ。

コンベンショナルメモリ

かつては、あれこれ迷おうにもメモリの種類は1つしかなく、プログラムもそのメモリを使用していた。また、オペレーティングシステムもMS−DOS(以下DOSと略す)しかなかった。DOSの制約のもとでは、プログラムに使用できる範囲は640Kバイトだけで、長い間すべてのプログラムは、この640KバイトというDOSのメモリ領域の制約を受けていた。しかしその後、プログラムとオペレーティングシステムは、メモリに対応しながら変化を遂げ、厳密にいえば、もはやDOS(Version5.0以降のもの)には、640KのRAMを使用しなければならないという制限はなくなっている。しかしそれにもかかわらず、よく使われているアプリケーションの多くが、最初のDOSの制限に縛られたままである。

DOSメモリに640Kバイトという上限が設けられたことを、オペレーティングシステムの設計者の責任にすることはできない。これはむしろ、最初のPCの設計によって押し付けられたものである。いいかえれば、現実的な設計とマイクロプロセッサの限界によって、このPCの限界が生じてしまったのである。

メモリは、マイクロプロセッサが使用できるように、アドレスが割り当てられていなければならない。PCでは、そのベースとなった8088マイクロプロセッサによって、1Mバイトのメモリアドレス空間が定められていた。第4章でも触れたように、この1Mバイトは**リアルモードメモリ**と呼ばれる。

IBMは、この基本となる1Mバイトのアドレス空間のうち、特別なシステム機能用として特定の部分を切り分けることにした。PCの最初の設計では、メモリのちょうど上半分がその範囲となった。8088のアドレス空間の上半分の512Kバイトが、システムのBIOSコードと、マイクロプロセッサが直接アクセスする、ビデオシステム用のメモリとして割り当てられたわけである。また、最初の数Kバイトは、システムのハードウェアの仕様に関する情報と、特定のソフトウェア割り込みがあったときに実行される、あるコードセクション(割り込みルーチン)の位置を記憶するスペースとなった。

メモリの各アドレスに割り当てられた用途を記して表を作ると、メモリの使い方を視覚的に表わした図表になる。この図表を**メモリマップ**という。図5-1は最初のIBM PCのメモリマップである。

普及していたほかのコンピュータが、最大64Kバイトのメモリ領域しか使用できなかった時代に、512Kバイトというのは格段に大きいという印象を与えたが、これでは不足することがすぐに明らかになった。最初のPCを発表して1年も経たないうちに、IBMは自らのメモリ分割の方法を見直し、上部の512Kバイトのうち余分な128Kバイト分を、プログラムのアクセス用に割り当て直しても差し支えないという結論に至った。この変更によって、アドレス上部の384Kが、ビデオメモリとBIOSルーチン用として残されることになった。

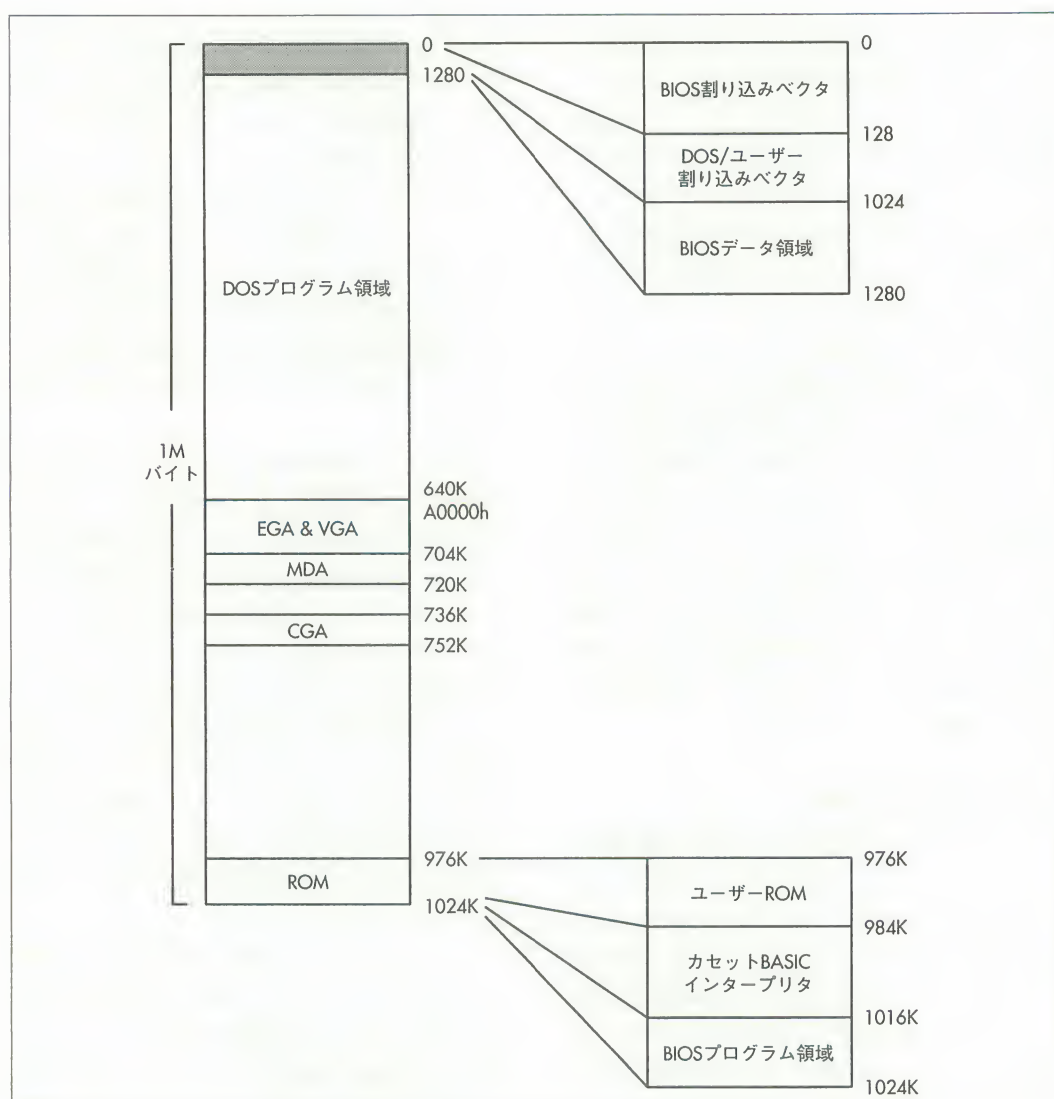



図 5-1　PC と XT のメモリマップ

下位の640Kバイトを DOS メモリエリアに割り当てるというこのメモリ分割法は、以来今日まで続いており、この640Kバイトは**コンベンショナルメモリ**と呼ばれている。この範囲は、8088マイクロプロセッサのアドレッシング範囲内において、連続したメモリエリアとしては最大容量であり、通常の DOS プログラムがアクセスできるアドレスの大きさに相当する。DOS の設計によって、プログラムは論理的に連続したメモリを使用するように決められている。また同時に DOS は、上限と下限の間（搭載されているメモリの量と、ユーティリティ機能への割り当て状況で決まる）であれば、プログラムがどこでもアドレスすることを許可している。もし、DOS メモリに穴（メモリチップが実装されていないアドレス範囲など）、つまり不連続部分があると、プログラムは存在しないアドレスもうっかり使用しようとし、プログラム（およびシステム）の破壊という有害な結果が生じる可能性がある。現在のような、メモリマネージメントの機能を持つハードウェアやソフトウェアが登

場するまでは、このようにメモリが論理的に連続している必要があったため、PCにどんなに多量のメモリが実装されていても、DOSのアプリケーションは640KのRAMしか使用できなかった。

DOSメモリエリアの上限は、IBMがVGAメモリをDOSの640Kバイトの直後に割り当てたことで決まってしまった。初期のモノクロームディスプレイシステムに割り当てられたメモリは、DOSメモリの64Kバイト上から始まっている。そこで、メモリ拡張ボードやメモリマネージャの中には、VGAが使用する64Kバイト部分にDOSをアクセスさせて、モノクロームディスプレイメモリのエリアを使用するものもある。ハードウェアとソフトウェアが両方ともこれに対応していれば、DOSやその下で走るアプリケーションは、この方法で704Kバイトの範囲のRAMにアクセスすることもできる。

IBMが、DOSアドレッシング範囲の下にある数Kバイトを、DOSやプログラムに必要な情報を記録しておくスペースとして割り当てたため、DOSエリアは0番地から始まっていない。アドレッシング範囲の最も下位にあるこの数Kバイトの中には、インタラプト(割り込み)ベクタとポインタが含まれている。このポインタによって、マイクロプロセッサは、各割り込みの処理ルーチンの開始アドレスがわかる。またこの部分には16バイトのキーボードバッファがあり、キーボードによって入力された最後から16文字分のコードが、逐次ここに記憶されるようになっている。この臨時の記憶エリアのおかげで、コンピュータがほかの作業で一時的にビジーになっている間も、キー入力を受け付けることができ、その後ビジーの状態から抜けたときに、遡って、入力されたキーに対応する処理ができるようになっている。長い時間1つのキーを押しっぱなしにしていると、コンピュータが怒ったようなビープ音を発生することがあるが、これはキーボードバッファが一杯で、新たにキー入力を記録するスペースがないことをマシンが告げているのであり、コンピュータはバッファに空きができるまでキー入力の受け付けを停止する。これに加えて、様々なシステムフラグや、セマフォアフラグのコードとして扱われる、システム内部の状態を示すインジケータが、このメモリエリアに記憶される。

DOSだけでなく、ほかのオペレーティングシステムも、PCのハードウェア設計の制限下にあって、640Kバイトのリアルモードメモリしか使用できない。ここから、メモリの下位640Kバイトは、より一般的な用語として**ベースメモリ**と呼ばれることもある。ベースメモリは、IBM互換システムを構築する際に従わなければならない、基準となる土台である。

Extended Memory

8088によってアドレス可能な1Mバイトの範囲を超え、286や386マイクロプロセッサのプロテクトモードによってアクセスできるメモリを、一般にExtended Memoryと呼ぶ。286ベースのコンピュータでは、15MバイトまでExtended Memoryを増設でき、386、486ベースのマシンなら4Gバイト近くまで拡張可能である。

DOSアプリケーションからExtended Memoryを使用する方法は、コンピュータに搭載されているマイクロプロセッサによって決まる。286マシンでは、プロテクトモードアプリケーションしかExtended Memoryを使用できないが、386や後続のプロセッサを搭載したマシンでは、仮想8086モードによって、ソフトウェアは1Mバイト以下の大きさにExtended Memoryを等分割して使用することができる。この分割されたメモリは、各々が1台のコンピュータのベースメモリのような働きをする。

DOSおよびそのアプリケーションが、仮想8086モードでExtended Memoryを使用する際には、メモリマネージメント用のソフトウェアが必要である。バージョン5.0以前のDOSは、Qualitasの「386Max」、あるいはQuarterdeck Office Systemsの「Q－EMM」のようなアドオンメモリマネージャが必要だった。現行バージョンのWindowsは、内蔵のメモリマネージメント機能を持っている。ただし、OS／2は、最初からExtended Memoryを使用するように設計された〝プロテクトモードオペレーティングシステム〟なので、これらのメモリマネージメント機能はOS／2には関

係ない。

しかしながら、コンピュータがいかに多くのメモリを搭載し、どのようなメモリマネージメント設計を使用していても、DOSアプリケーションがアドレッシングできるのは1Mバイト以下、もっと正確にいえば、640Kバイトだけであることに注意しなければならない。これは、DOSアプリケーションのメモリアドレッシング範囲が、アプリケーション自身に組み込まれているためである。WindowsやOS／2のもとでは、Extended Memoryを使って、いくつかの標準DOSアプリケーションを走らせることができる場合が多いが、各プログラムは、内部的には、古いDOSの640Kバイトのアドレッシング範囲の制限を持たされていることに変わりはないのだ。

少数のパワフルなDOSプログラムは、このルールの例外である。これらのプログラムは、DOSエクステンダを利用して、Extended Memoryも使用することができる。DOSエクステンダとは、アプリケーション自身に組み込んで使うもので、コード化されたメモリ管理ルーチン（ライブラリ）で構成されるソフトウェアツールキットである。DOSエクステンダを使用して書かれたプログラムには、同時にメモリマネージャが組み込まれることになる（ユーザーはDOSエクステンダを直接目にすることはない。その恩恵だけを受けるのだ）。

DOSエクステンダは、まず、DOSを使ってプログラムをリアルモードでロードし、続いてプログラム制御をプロテクトモードに切り換える。このとき、DOSエクステンダは、DOSに代わってDOSから標準的に供給されるすべてのサービスを行う（DOSがリアルモードでしか動作できないため）。プロテクトモードのアプリケーションが、DOSがリアルモードで標準的に供給している機能を実行する必要がある場合、DOSエクステンダは仮想プロテクトモードのアドレスを物理アドレスに変換して、Extended Memoryからコンベンショナルメモリへ必要なデータをコピーし、その機能を実行するためにリアルモードに切り換える。リアルモードの機能が完了すると、DOSエクステンダはこのプロセスを逆順に行って、元のプロテクトモードに切り換える。

DOSエクステンダを使用するほとんどのアプリケーションは、386や後続のマイクロプロセッサで走るように設計されているため、名前に〝386〟が付いている（「Paradox 386」、「AutoCAD 386」など）。ただし〝386〟の名称は486マイクロプロセッサが優勢な現在では、時代遅れの印象を与えてしまうため、この名前の付いたプログラムのほとんどは市場から消えつつある。さらに、OS／2やWindows上で使うように特別に書かれたプログラムであれば、Extended Memoryにアクセスする際には、DOSエクステンダは必要ない（もちろん、OS／2やWindows用に書かれたプログラムはDOSのアプリケーションではなく、OS／2もしくはWindowsのアプリケーションである）。

Extended Memoryの容量が大きくなると、プログラムに問題が発生する確率が高くなる。使用できるメモリがたくさんあると、それぞれにメモリマネージャを組み込んだ、複数の拡張DOSプログラムやオペレーティングシステムを、同時に実行してみたいと思うかもしれないが、DOSは、Extended Memoryではプログラム同士の相互作用の方法を制御しないため、Extended Memoryで2つのプログラムがRAMの同じブロックを使用しようとした場合に、衝突する可能性がでてくるのだ。

このような衝突を避けるために、Extended Memoryをプログラムの間に割り当てる方法が、ソフトウェアエンジニアによってこれまでにいくつか開発されてきた。最も初期に考えられた方法は、Extended Memoryを使用するプログラムが、必要な数のExtended Memoryのブロックを予約するという方法である。Extended Memoryプログラムは、それぞれが多量のメモリを自分のものにして使用する。大きな問題は、プログラムはロードされたときしかこの割り当てを行わないため、プログラムの要求に応じて割り当てを変えられない点である。アプリケーションが要求した容量が、実はほとんど実行されない作業のためのものであっても、そのアプリケーションは起動時にその容量すべてを予約しなければならず、ほかのプログラムはそのメモリにアクセスできなくなるのである。

複数のExtended Memoryプログラムが一緒

に動作できるように、Extended Memory マネージャの 3 つの規格が開発された。「Extended Memory Specification」、「仮想制御プログラムインターフェイス」、「DOS プロテクトモードインターフェイス」がそれである。

■ XMS

Extended Memory Specification (XMS) は、Extended Memory 機能を有効に利用するために、AST Research、Intel、Lotus Development、Microsoft Corporation によって開発された。1987 年に初めて登場したこの XMS は、Extended Memory にアドレスできるすべてのマイクロプロセッサ（つまり 286 より上位のもの）で機能し、リアルモード（DOS）アプリケーションが、通常は DOS の範囲外にある特別なリアルモードメモリのブロックと同時に、Extended Memory も使用できるようにする。XMS は通常は、コンピュータの CONFIG.SYS ファイルに、Extended Memory マネージャのドライバをロードするコマンドを記述することによってシステムに追加される。最も一般的な Extended Memory マネージャは「HIMEM.SYS」で、これは DOS や Windows の最近のバージョンに付属さする。

■ VCPI

仮想制御プログラムインターフェイス（VCPI：Virtual Control Program interface）は、Phar Lap Software（人気のある DOS エクステンダの発売元）と Quarterdeck Office Systems（「Q－EMM／386」という Extended Memory マネージャの作成元）によって開発され、1987 年に初めて登場した。VCPI は、ソフトウェア割り込み、具体的には〝int 67h〟を使用するもので、複数の仮想 8086 モードプログラムが同時に動作し、互いにやり取りをさせるための手段として、386 マイクロプロセッサのために特別に開発されたものである。VCPI アプリケーションには、それぞれ専用の 386 制御プログラムが含まれている。システムにロードされた最初の VCPI のプログラムは、それ以降にロードされる VCPI プログラムのひとつひとつについて、割り込みの制御をリンクする責任を持つ。つまり、最初にロードされた VCPI プログラムは、ほかのすべての VCPI プログラムのメモリマネージャの役割を果たすわけである。

■ DPMI

DOS プロテクトモードインターフェイス（DPMI：DOS Protected Mode Interface）は、最も新しい Extended Memory マネージメントシステムで、最初は Windows3.0 に付属（あるいは内蔵）された形で発売された。規格のバージョン 1.0 は 1990 年 11 月に正式にリリースされ、Extended Memory 機能を持つすべてのマイクロプロセッサに適合している。Microsoft は当初、これをメモリマネージャに加えて DOS エクステンダの機能もすべて含んだ独自の標準と考えていたが、正式な規格の範囲は、DOS エクステンダとの衝突を避けるために減らされた。また、規格の管理運営は、独立した産業団体（DMPI 委員会）に委任された。

EMS

1985 年 4 月、大容量の Extended Memory を搭載できる AT が発表されたわずか数か月後、有力なソフトウェアベンダである Lotus Development とハードウェアメーカーの Intel は、8088 ベースの DOS コンピュータの 640K バイトという制限を乗り越える、独自の規格を設定した。数ヶ月後にはこれに Microsoft も参加し、この新たな展開は「Lotus－Intel－Microsoft Expanded Memory Specification」、または「LIM メモリ」、「EMS」、あるいは簡単に「Expanded Memory」という名称で呼ばれるようになった。EMS の最初のバージョンには、「3.0」というナンバーが付けられているが、これは、当時使用されていた DOS 3.0 と互換性があることを表わしたもので、したがって、EMS には「1.0」というバージョンは存在しない。Microsoft が参加したときに仕様がわずかに変更され、バージョン 3.2 となっている。

この新しいメモリシステムが、ベースメモリや Extended Memory と異なる点は、それがホストのマイクロプロセッサの通常のアドレッシング範囲内に存在しないということである。その代わりに、8088 マイクロプロセッサが読み書きできる通

常のアドレス範囲内にあるメモリバンクを、ハードウェア回路で切り替える方法を使っている。

バンク切り換えと呼ばれるこの技法は、目新しいものでも特に変わったものでもなく、Z80マイクロプロセッサをベースにしたCP／Mコンピュータでは、このコンピュータに固有の、64Kバイトというアドレッシングの制限を超えるために、すでに利用されていたものである。したがって、このバンク切り換えの技術について唯一注目されるべき点は、ときには競合し合うメーカー同士が、標準化という点で手を結んだということである。

最初のEMSの仕様では、Expanded Memoryは16Kバイト単位のバンクの中で扱われていた。そして、これらのバンクを、同時に最大4個まで8088のアドレッシング範囲に切り換えるために、ディスプレイメモリに割り当てられている領域の上にある非DOSのメモリエリアに、64Kバイトの領域が割り当てられた。Expanded Memoryの16Kバイトのバンクは、最大8Mバイトまでシステムにインストールすることができた。

EMSの仕様には、いくつかのファンクションコール（あらかじめ定められているソフトウェアルーチン）の定義が含まれている。ファンクションコールは、Expanded Memoryにアクセスするプログラムが使用する、「Expanded Memoryマネージャ」と呼ばれる特殊なEMSソフトウェアの一部である。DOSの640Kバイトの範囲を越えるメモリエリアは、すでにIBMによって様々な用途を割り当てられているため、バンク切り換え領域が勝手な位置に割り当てられると、ほかのシステム拡張と衝突する可能性が出てくる。このためEMSの仕様では、784Kバイトから960Kバイトの範囲内に、何通りかのアドレス範囲をバンク切り換え用の領域として使用できるように定めている。

プログラムは、EMSドライバよって追加されたファンクションコールを使用するように、書き直さなければならないため、通常のソフトウェアは、Expanded Memoryがあっても、DOSの範囲を超えることはできない。さらに、最初のEMSでは、この追加のメモリを使用するにあたってやっかいな制限があった。このメモリはデータの記憶用としてしか使用できず、プログラムコードをEMSエリアで実行させせることができなかったのである。システムにEMSメモリを追加するには、バンク切り換え回路を組み込んだ特別な拡張ボードも必要で、ユーザーはごくわずかな無名のメモリボードを買って、きちんと動作することを期待するほかはなかった。

■ソフトウェアEMS

通常のDOSプログラムからはExtended Memoryを利用できないという事実が露呈するまで、ATマシンの登場と、それが16Mバイトの空間をアドレスできるということによって、EMSはすっかり影が薄くなっていた。ATの発表のわずか3年後には、Extended Memoryのオペレーティングシステム（OS／2 Version 1）ができ、Expanded Memoryはアプリケーションソフトウェアの開発に関して3年間先行したのである。

実際、DOS 5.0やWindows 3.0、OS／2 2.0といった真に有用なExtended Memoryプログラムが登場する前は、Extended Memoryの最も重要な用途の1つはExpanded Memoryをエミュレートすることだった。**Expanded Memoryマネージャ**または**LIMulator**と呼ばれる特殊なプログラムを使えば、ベースメモリやExtendedメモリ、果てはディスク装置まで、どんなメモリでもEMS互換メモリにすることができる。

これらのソフトウェアEMSは、2つのクラスに分かれている。1つは、386マイクロプロセッサ（およびメモリマッピング回路を持った286マシン、つまり、マイクロチャネルPS／2や適切なチップセットを使ったAT互換マシンなど）に内蔵されている、〝仮想ページメモリマッピング〟の機能を使用するもので、もう1つは、Extended Memoryからベースメモリへ、16Kバイト単位のバンクメモリをコピーするものである。386用のプログラムは、ホストのコンピュータに対して、メモリブロックをコピーするという特殊な動作を行うように要求する代わりに、瞬時にブロックの切り換えを行うことができるため、性能の点では強みがある。仮想ページメモリマッピングは使えないが、EMSがどうしても必要な場合は、コピー

形式のLIMulatorを使うほかはない。この場合、確かに速度は遅くなるが、それほど大きな不利益ではない。

Enhanced EMS

EMSが発表されて間もなく、これに競合するシステムが、AST Research、Quadram、AshtonTateによる、まったく別の企業連合から提唱された。Enhanced Expanded Memory Specification (EEMS)と呼ばれるこのシステムは、EMSのアイデアをさらに発展させたもの(EMSのスーパーセット)で、Expanded Memoryのエリアでのプログラムの実行や、マルチタスクを可能にしている。EEMSの設計において改良されている点は、640KバイトのDOSエリアの一部をバンク切り換え用に使用するだけでなく、最大64Kバイト単位のバンクを切り換えることができるようになったことである。EEMSもEMS同様に、専用のドライバや専用のハードウェア、そしてこの改良点を使用するように書かれたソフトウェアが必要だった。これらはEMS用に作られたものとはまったく異なるものである。

EMS Version 4.0

1987年8月に、2つのシステム(EMSとEEMS)は、「EMS Version 4.0」で統合された。EMSとEEMSはともにEMS 4.0のサブセットであり、ソフトウェアはどちらか一方のシステムに合わせて書かれていれば、EMS 4.0の下で走ることができる。EMS Version 4.0では、前の標準を超えて、最大32Mバイトのバンク切り換えメモリがサポートされていることが多い。もちろんこの32Mバイトのすべてが、プログラムの実行とマルチタスクをサポートしており、また、ファンクションコールは2倍以上に増えて、EMS 4.0対応のプログラムを作るプログラマを大いに助けている。EMS 4.0は、以前のハードウェア設計と互換性があるが、実際動作させるにあたっては、新しいメモリマネージメントのソフトウェアが必要である。アプリケーションは、増加したファンクションコールを使用するように特別に書かなければならないが、以前のEMSやEEMSの規格に準拠して書かれたアプリケーションも、まったく動作しないわけではなく、当初の仕様の範囲内でなら動作するだろう。

開発者によれば、EMS 4.0の目的は、8088や8086ベースのコンピュータの寿命を伸ばすことであるという。EMS 4.0は、より大きなメモリへのプログラムのアクセスを可能にする、プロテクトモードOSの代用品として使用することができるが、本質的にはOSではない。EMS 4.0は単にソフトウェアとOSの開発者に機能を与えているだけであり、マルチタスク環境を実現するには、EMMプログラムを効率的に使用しなければならない。

High DOS Memory

拡張性の高いコンピュータでは、メモリマネージメントソフトによって、ほかにもいくつかの特別なメモリが作り出される。その中にはHigh DOS Memory (UMB：Upper Memory Block)とHigh Memory Area (HMA)と呼ばれる2つのメモリがある。

DOSメモリの名目上の上限から、リアルモードメモリの上限までの間のメモリ領域(物理アドレスの640Kバイトから1,024Kバイトの間の領域)は、パーソナルコンピュータのさまざまな機能(ビデオメモリなど)に使われているが、実際には、パーソナルコンピュータの全機能に使われる分よりも大きい領域である。一般には、フルに拡張されたコンピュータでさえ、このエリアのうちの、数万～数十万バイトのメモリアドレスは使用しない。これらの未使用のアドレスは、リアルモードのアドレッシング範囲に含まれるため、DOSで使用できる。この384Kバイトのエリア全体を「High DOS Memory」という。

High DOS Memoryの未使用アドレスは、そのままではメモリが割り当てられていないため、何の役目も果たさない。しかし、メモリマッピングをサポートしているコンピュータ(386やそれより上位のマイクロプロセッサ搭載マシンや、適切なサポート回路を搭載した286マシン)は、このアドレッシング範囲にExtended Memoryをリマップできる。このリマップされたメモリは、DOSア

プリケーションでは使用できないが（連続していないため）、ドライバソフトやTSRユーティリティのような、それだけで完結したプログラムのブロックの実行に使用できる。

多くのメモリマネージメントプログラム（バージョン5.0以降のDOSを含む）は、これらとは別の方法で未使用アドレスとメモリマッピングを組み合わせ、Microsoftが「Upper Memory Block（UMB）」と呼ぶメモリエリアを作っている。アプリケーション用に、より多くのDOSエリアを残すために、特殊なプログラムローダー（DOSのLOAD HIGHコマンドなど）を使って、ドライバやTSRソフトウェアを通常のDOSの640Kバイト以内ではなく、UMBに配置することができる。UMBを効果的に使用するコツは、ドライバとTSRとメモリブロックの中から最も適合する組み合わせを見つ出すことである。それぞれのドライバやプログラムは、1つの連続したメモリブロックの範囲内に収まらなければならない。

High DOS Memoryを動作させるには、それに適合するハードウェア（386、486、メモリマッピングをサポートするチップセットを搭載した80286）と、メモリマネージャ、専用のローダ、そしてリマップして使用できる物理メモリが必要である。640Kバイトしかメモリを持っていないシステムの場合は、High DOS Memoryのエリアには、何もリマップすることはできない。

High Memory Area

Extended Memoryの機能があるマイクロプロセッサには、おもしろい癖（バグ）がある。リアルモードの状態でも、1Mバイトを超えるメモリをアクセスできるのである。8088や8086マイクロプロセッサで走るプログラムが、1Mバイトを超えるメモリアドレスにアクセスしようとすると、そのアドレスは〝ラップ〟し、0に戻ってスタートする。一方、286以降の新しいマイクロプロセッサの場合は、21本目のアドレスライン（8088系にはない）に信号が出力されると、1Mバイトを超える1セグメント相当のアドレスは、Extended Memoryの領域にまで達する。このアドレスライン（A20）は、リアルモードでプログラムが動いている間でも出力することができる。このため、Extended Memoryの最初の1セグメント分は、286や上位のプロセッサなら、リアルモードでもアクセスできるのである。

この増加分のメモリは、64Kバイトから16バイトを引いた容量で、High Memory Area（HMA）と呼ばれる。このメモリは640KバイトのDOSエリアとは連続していないため、通常のDOSアプリケーションは、これを増設されたメモリとして使用することはできないが、ドライバやTSRソフトウェアであれば、UMBと同じ使い方ができる。ただし、HMAはUMBとは違って、容量にかかわらず、ドライバやユーティリティは1つしかロードできない。DOS 5.0は、ユーザーの指示で自動的にカーネル（約40Kバイト）やプログラムコードをHMAに移動できるように書き直されており、HMAがアクセスできるシステムでは、これが自動的に行われる。この再配置によって、通常の640KバイトのDOSエリアのうち40Kバイト分を、DOSアプリケーションが使用できるように空けられる。

シャドウメモリ

最新の32ビットコンピュータは、8ビットか16ビット、もしくは32ビットのデータバスを介してメモリへアクセスしている場合が多いが、BIOSを記憶しているROMに関しては、16ビットのデータバスを使用するほうが都合がよい場合が多い（32ビットバスでは4個必要になる高価なEPROMチップが、2個だけで済むからだ）。オンボードの拡張BIOSを持っている拡張カードの多くは、8ビットのデータバスによってコンピュータのホストに接続されている。このため、これらのメモリエリアは、ホストシステムの32ビットRAMと同じ速度ではアクセスすることができない。BIOSルーチン、特にディスプレイアダプタに使用されるものは、コンピュータの中で最も頻繁に使用されるコードの1つであることを考えると、これは問題である。

この速度の壁を破るために、386マシンでは**シャドウメモリ**が多く使用されている。このタイプのマシンでは、ROMのルーチンを高速な32ビット

RAM にコピーし、386 の持つ仮想ページメモリマッピング機能を使用して、その RAM を ROM のアドレス領域に切り換えている。こうすると、BIOS ルーチンの実行速度は 4 倍以上(以上というのは、遅い ROM メモリへアクセスする時には、もっと多くのウェイトステートが課されることがよくあるからである)スピードアップする。もちろん、シャドウメモリは揮発性メモリなので、コンピュータがブートされるたびに BIOS ルーチンをロードしなければならない。

5.7 メモリのパッケージ

メモリチップの正体は、爪よりも小さい銀色のシリコンで、空気にさらされると壊れてしまうほど繊細だ。メモリチップは(すべての半導体と同様に)、取り扱いを容易にするために、大きなケースに密封されている。ケースはシリコンを保護しているだけでなく、チップを回路基板に実装する際に便利な媒体になっている。このケースを**パッケージ**という。

メモリチップは、一般に**ディスクリートチップ**と呼ばれる集積回路として、1 個 1 個別々にパッケージに入れられているのが普通である。初期のパーソナルコンピュータは、メモリソケットでディスクリートチップを搭載するように設計されていた。この場合、通常は 1 メモリバンクは 9 個のチップで構成される。しかし、32 ビットマイクロプロセッサの登場と共にメモリの需要が大きくなり、ディスクリートチップではメモリとしては不都合、あるいは非実用的になった。1 バンクは通常 36 個のチップで構成されるため、バンクが多くなれば、ほとんどのパーソナルコンピュータのボード上には、実装に必要なスペースがなくなってしまうからである。

これに対して考えられた新しいパッケージが**メモリモジュール**で、これは数個のディスクリートチップを、1 枚の小さな回路ボードに載せたものである。メモリモジュールは、2 つの理由からディスクリートチップよりコンパクトになっている。1 つは、チップはメモリモジュールに直接はんだづけされており、一定のスペースが必要なソケットが要らないため、複数のチップを近づけて実装できることだ(個別のメモリチップを脱着する必要がないため)。さらに、メモリモジュールに実装されるディスクリートチップは機械を使って実装できればよいので、もっとコンパクトな表面実装パッケージが使用できる。このように、長さがわずか数インチの 1 個のメモリモジュールに、バンク単位のメモリを入れることができるのだ。

コンピュータに付属の説明書の中に、使用するメモリのタイプの記載がなくても、コンピュータの中をちょっと見るだけで、使用しているメモリのタイプはわかる。ディスクリートメモリチップは、ほとんどの場合、システムボード上で長方形に配列されて搭載されている。チップが 9 個ある列が、数列(通常 4 列)並んでいるのが典型的だが、中には 1 列 18 個のものや、4 列以上のマシンもある。また、列のいくつかが空きソケットになっていて、メモリを拡張できるものもある。

ディスクリートメモリチップを見分けるための秘訣がある。使用されるチップはすべて同じもので、普通は、並んだすべてのチップのパッケージに、同じ識別番号が付いているのだ。ただし、チップメーカーはそれぞれ異なるパーツナンバーを使用しているため、ちょっと変わった番号のチップが混ざっている可能性もある。さらに、コンピュータによっては、列ごとに異なるタイプのチップを使用している場合もある。とはいえ、複数の似通ったチップが並んでいれば、それはディスクリートメモリチップであると思って間違いない。

これに対し、通常右方向へ突き出た数枚の小さな回路ボードがシステムボード上にあれば、そのコンピュータはメモリモジュールタイプのメモリを搭載しているということだ。いくつかのコンピュー

タでは、メモリモジュールの配置を分散させて、拡張スロットの間に置いているものもあるが、おおよそ4インチ四方の一区画に、すべてのモジュールが一緒に搭載されているのが一般的である。

ディスクリートチップ

RAMチップは、パーソナルコンピュータの発展に伴って進化してきた。小型コンピュータの成功は、メモリチップの需要に拍車をかけた。それと同時に、メモリチップの容量も増大し、世界的な品不足が原因で、1980年代終わりに一時的に値上がりしたことを除けば、チップの価格は大きく下がった。

最初のPCが発表された当時、標準的なRAMチップは16Kビット、正確には16,384ビット(2,048バイト)の情報を記憶することができた。この標準RAMチップは、メモリチップとしては最小の容量で、かつてはあらゆるPC互換機に使用されたこともあるが、すぐに時代遅れになり、現在では見つけることすら困難である(たとえ見つかっても非常に高価である)。このメモリを使用したコンピュータはわずか数万台で、それらの大部分のマシンの耐用年数も、今ではすでに経過してしまっている。

約1年後にXTが発表されるまでの間に、容量の大きい(64Kビット)チップのほうが経済的であることがわかった。64Kビットのチップは、16Kビットのチップの4倍のデータを記憶できるのに対し、価格は4倍以下なのである。このため、PCのシステムボードはこの格安なメモリを搭載するために修正され、XTはこのメモリが搭載できるように設計された。数年間で、64Kビットのチップは一般的になり、値段は16Kビットのチップよりも安くなった。

1984年までに、メモリ容量の最大値は次なる段階、256Kバイトに移行し、最初のATではこの容量のRAMチップが採用された。最初の386ベースのコンピュータが市場に登場したときには、メモリチップの標準容量は1Mバイトまで増大し、今日では4Mバイトのチップが発売されている。

ほとんどのチップメーカーは、容量を増大させるにあたって、4の2乗単位で増加させているため、次世代のRAMチップは、16Mビットと256Mビットになるだろう。256Mビットチップは、1998年までには流通するだろうと期待されている。しかし一方で、一般的な傾向としては、ディスクリートチップよりも便利なメモリモジュールを使用する方向にあり、256Mビットのディスクリートチップも、4Mビットチップでさえも、あまり使われることはないと思われる。

1台のコンピュータで、違った容量のディスクリートチップを混ぜて使用するのは危険である。異なる容量のチップが搭載できるコンピュータもあるが、その場合でも、インストールされたチップはすべて同じ容量でなければならない。たとえば、64Kビット、256Kビット、1Mビットのチップが使用できるマシンでも、異なる容量のチップを組み合せて搭載することはできないのである。一方、特定のバンク内のチップがすべて同じなら、サイズの異なるチップを組み合わせて使用できるシステムもある(ユーザーは自分のコンピュータもしくはマザーボードのマニュアルを見て、システムが守らなければならないルールを確認する必要がある)。この一般規則の基本にある論理的根拠は、バンクの中にほかのチップより容量が小さいチップが1個でもあれば、そのアドレスには記憶の完全な1単位を格納する十分なビットがないということである。エラーの発生は避けられない。4ビットのチップを使用した場合のみこのルールの例外となるが、この場合は、別のもっと厳しい条件が課される。

ディスクリートチップのパッケージは、容量に応じて外形が異なるだけでなく、用途に合わせて様々な形のものがある。パッケージの形が異なるだけでなく、ソケット(または回路ボードへのはんだづけの方法)に合わせてピンの形も異なる。最も一般的なメモリチップでは「デュアルインラインピン」(DIP)パッケージが使用されている。このパッケージはプラスチック製の小さな長方形の平板で、ピンはパッケージ両側の長辺から直角に下向きに出ている。一般に、ピンの間隔は0.1インチで、パッケージの幅(脚の出ている辺同士の幅)は2.5インチである。「シングルインラインピン」(SIP)パッケージは、DIPの脚を片側の辺から真

横にまっすぐに伸ばしたもので、ピンは同様に 0.1 インチ間隔に並んでいる。「シグザグインラインピン」(ZIP) パッケージは SIP に似ているが、0.1 インチ間隔で並んだピンが片側から 2 列になって出ている。2 列は 0.1 インチの間隔で並行に並んでおり、さらに、2 列のピンがジグザクの形をなすように、0.05 インチ分 (ピン間隔の半分) だけ互いにずれている。つまり、ZIP チップは SIP チップと同じサイズでも、接続部分は多いわけである。

また、メモリチップには表面実装用のパッケージもある。表面実装用パッケージは、所定の位置にはんだ付けできるように設計された、小さな正方形 (通常 1.5 インチ四方) の樹脂のかたまりである。このパッケージは標準のソケットには合わないため、システムボードのメモリ拡張用には使用できない。

ディスクリートチップは、データのアクセス方法によっても分類できる。典型的なコンピュータのメモリチップは、情報を連続したアドレス (通常は約 256,000 で、1 ビット幅) に格納する。同じ容量は 4 つに分割できるので、各アドレスには 4 ビット記憶できることになる。この方法であれば、256K ビットのメモリチップなら、約 64,000 個のアドレスのひとつひとつに 4 ビットずつ記憶することができるわけである。この形式のチップは、ディスプレイアダプタや少数のコンピュータシステムでは一般的になってきており、「4×64K ビットチップ」と呼ばれて、1×256K ビットのコンベンショナルチップとは区別されている (論理的には両チップとも 256K チップと呼べる)。同様に、1M ビットのチップには、「1×1,024K ビットチップ」と「4×256K ビットチップ」がある。

データ幅の広いチップの最大の利点は、メモリバンクごとに必要なチップの数が少なくてすむということである。たとえば、1 バイト幅のメモリに対しては、4 ビットチップなら 2 個しか必要ないが、1 ビットチップであれば 8 個必要になる。したがって、システム設計の際にメモリを節約しようと思ったら、データ幅の広いチップが採用されることになる。PC では、4 ビットチップであれば、3 個でバンクを作ることができる (パリティチェック用に 1 個余分に必要) ため、386 や 486 のパーソナルコンピュータを動作させるのに最低限必要な 32 ビットのバンクなら、チップは 36 個ではなく 12 個で済むことになり、マザーボードのスペースが節約できる。この形式のメモリ配列 (各バイトが 1 ビットチップ 1 個と 4 ビットチップ 2 個で構成されている) は、1 個のメモリバンクで容量の異なるチップを混ぜて使うことはできないという前述のルールの唯一の例外である。

メモリを購入するときは、正しいデータ幅のチップを購入しなければならない。全体の容量が同じでも、1 ビットチップと 4 ビットチップは互換性はない。

メモリチップの種類を確認する唯一確実な方法は、チップパッケージに表示された製造名を見ることである。ただし、大抵のコンピュータは、ほとんどメモリの総称ともいえるほどよく使用されているタイプのメモリチップ、すなわち、1 ビット幅で、DIP パッケージの DRAM チップを使用している。このタイプのメモリがコンピュータに使用されている場合には、個々のチップの容量が、64K ビットなのか、256K ビットなのか、あるいは 1M ビットなのかという点にだけ気を付ければよい。このありふれた種類のメモリチップに対しては、人をわざわざ惑わすかのように、各メーカーがそれぞれ専用の名称を用いている。**表 5-1** は、様々なチップに対して主要メーカーが使用しているパーツナンバーの一覧である。

メモリにおける一般原則の大きな例外として、少数の 386 ベースマシンがある。これらは、普通の DRAM よりも高い性能を獲得するために、ちょっと変ったチップ (スタティックカラム RAM やページモード RAM) を使用している。自分のコンピュータに使用されているメモリのテクノロジーがよく分からない場合は、そのメモリチップに記されている名称と、**表 5-1** にリストされている名称とを比べるとよいだろう。いずれかに一致していれば、そのチップか、そのチップの相当品でシステムメモリを拡張しても差し支えないはずだ。

表 5-1　主要な DRAM チップのメーカーとチップ名の対応表

■1M ビット DRAM チップ■

メーカー	型番	メーカー	型番
1 ビット幅、ファーストページモード			
Fujitsu	MB81C1000P／PJ／PSZ	Oki	MSM511000RS／JS／ZS
Hitachi	HM511000AP／AJP／AZP	Siemens	HYB511000
Micron	MT4C1024PD／DJA／ZB	TI	TMS4C1024N／DJ
Mitsubishi	M5M41000AP／AJ／AL	Toshiba	TC411000BP／BJ／BZ／BFT
NEC	uPD421000C／LA／V	Vitelic	V53C100
1 ビット幅、ニブルモード			
Fujitsu	MB81C1001P／PJ／PSZ	NEC	uPD421001C／LA／V
Hitachi	HM511001AP／AJP／AZP	Oki	MSM511001RS／JS／ZS
Micron	MT4C1025PD／DJA／ZB	TI	TMS4C1025N／DJ
Mitsubishi	M5M41001AP／AJ／AL	Toshiba	TC411001BP／BJ／BZ／BFT
1 ビット幅、スタティックカラム			
Fujitsu	MB81C1002P／PJ／PSZ	Oki	MSM511002RS／JS／ZS
Hitachi	HM511002AP／AJP／AZP	Siemens	HYB511002
Micron	MT4C1026PD／DJA／ZB	TI	TMS4C1026N／DJ
Mitsubishi	M5M41002AP／AJ／AL	Toshiba	TC4110028P／BJ／BZ／BFT
NEC	uPD421020C／LA／V	Vitelic	V53C102
4 ビット幅、ファーストページモード			
Fujitsu	MB81C4256P／PJ／PSZ	Oki	MSM514256RS／JS／ZS
Hitachi	HM514256AP／AJP／AZP	TI	TMS44C256N／DJ
Micron	MT4C4256PD／DJA／ZB	Toshiba	TC514256BP／BJ／BZ／BFT
Mitsubishi	M5M44256BP／BJ／BL／BVP／BRV	Vitelic	V53C104
NEC	uPD424256C／LA／V		
4 ビット幅、スタティックカラム			
Fujitsu	MB81C4258P／PJ／PSZ	NEC	uPD424258C／LA／V
Hitachi	HM514258AP／AJP／AZP	Oki	MSM514258RS／JS／ZS
Micron	MT4C4258PD／DJA／ZB	Toshiba	TC514258BP／BJ／BZ／BFT
Mitsubishi	M5M44258BP／BJ／BL／BVP／BRV	Vitelic	V53C106
4 ビット幅、ファーストページライトパービット			
Hitachi	HM514266AP／AJP／AZP	Toshiba	TC514266BP／BJ／BZ／BFT
Mitsubishi	M5M44266BP／BJ／BL／BVP／BRV	Vitelic	V53C105
NEC	uPD424266C／LA／V		

■4M バイトダイナミック RAM チップ■

メーカー	型番	メーカー	型番
1 ビット幅、ファーストページモード			
Fujitsu	MB814100	Oki	MSM51400RS／JS／ZS
Hitachi	HM514100AJ／AS／AZ	Panasonic	MN41C4000SJ／L
Micron	MT4C1004	Samsung	KM41C4000
Mitsubishi	M5M44100J／L	Siemens	HYB514100
Mosaic	MDM14000	TI	TMS44100
Motorola	MCM514100	Vitelic	V53C400
NEC	MPD424100		
1 ビット幅、ニブルモード			
Hitachi	HM514101AJ／AS／AZ	Oki	MSM51401RS／JS／ZS
Mitsubishi	M5M44101J／L	Samsung	KM41C4001
NEC	MPD424101		
1 ビット幅、スタティックカラム			
Hitachi	HM514102AJ／AS／AZ	Oki	MSM51402RS／JS／ZS
Mitsubishi	M5M44102J／L	Panasonic	MN41C4002J／L
NEC	MPD424102	Samsung	KM41C40012
4 ビット幅、ファーストページモード			
Fujitsu	MB81440	Oki	MSM514400RS／JS／ZS
Hitachi	HM51440AJ／AS／AZ	Panasonic	MN41C41000SJ／L
Micron	MT4C4001	Samsung	KM44C1000
Mitsubishi	M5M44400J／L	Siemens	HYB514400
Mosaic	MDM41000	TI	TMS44400
Motorola	MCM514400	Toshiba	TC514400AP／AJ／ASJ／AZ
NEC	MPD424400	Vitelic	V53C404
4 ビット幅、ニブルモード			
Hitachi	HM514402AJ／AS／AZ	Oki	MSM514402RS／JS／ZS
Mitsubishi	M5M44402J／L	Toshiba	TC514402AP／AJ／ASJ／AZ
NEC	MPD424402		
4 ビット幅、スタティックカラム			
Hitachi	HM514410AJ／AS／AZ	Panasonic	MN41C410025J／L
Mitsubishi	M5M44410J／L	Toshiba	TC514410AP／AJ／ASJ／AZ
NEC	MPD424410		

■シングルインラインメモリモジュール(SIMM)■

メーカー	型番	メーカー	型番
256Kバイト、8ビット			
Hitachi	HB561008	Oki	MSC2328
Micron	MT8C8256	TI	TM4256GU8
Mitsubishi	MH25608	Toshiba	THM82500
NEC	MC157		
256Kバイト、9ビット			
Fujitsu	MB85240	NMB	MM256KOJ9
Hitachi	HB561003	Oki	MSC2331
Micron	MT8C9256	TI	TM42566U9
Mitsubishi	MH25609	Toshiba	THM92500
NEC	MC41256A9		
1Mバイト、8ビット幅			
Fujitsu	MB85230	NEC	MC42100AB
Hitachi	HB56A1B	NMB	MM1M100J8
Micron	MT8C8024	Oki	MSC2313
Mitsubishi	MH1MO8AOJ	TI	TM024GADB
Motorola	MCM81000	Toshiba	THM81000
1Mバイト、9ビット幅			
Fujitsu	MB85235	NEC	MC421000A9
Hitachi	HB56A19	NMB	MM1M100J9
Micron	MT8C9024	Oki	MSC2312
Mitsubishi	MH1M09AOJ	TI	TM024EAD9
Motorola	MCM91000	Toshiba	THM91000
1Mバイト、32ビット幅			
Oki	MSC2327		
Toshiba	THM322500		
1Mバイト、36ビット幅			
Fujitsu	MB85236	Motorola	MCM36256
Hitachi	MB56D25636	NEC	MC424256A36
Micron	MT9D36256	Oki	MSC2320
Mitsubishi	MH25636AJ	Toshiba	THM362500
2Mバイト、36ビット幅			
Hitachi	H856D51236	NEC	MC424512A36
Micron	MT8C36512	Oki	MSC2321
Mitsubishi	MH51236AJ	Toshiba	THM365120

メーカー	型番	メーカー	型番
4M バイト、8 ビット幅			
Hitachi	H856A48	Oki	MSC2341
Mitsubishi	MH4M08	Toshiba	THM84000
Motorola	MCM84000		
4M バイト、9 ビット幅			
Fujitsu	MB85285	Motorola	MCM9L4000
Hitachi	HB56A49	Oki	MSC2340
Hyundai	HYM594000	TI	TMS4100EBD9
Mitsubishi	MH4M09AOJ	Toshiba	THM94000
Micron	MT9D49		
4M バイト、32 ビット幅			
Hitachi	HB56D132		
Toshiba	THM321000		
4M バイト、36 ビット幅			
Hitachi	HB56D136	Oki	MSC2350
Mitsubishi	MH1M36	Toshiba	THM361020

コプロセッサやそのほかのチップと同様に、メモリチップを搭載する際には、ソケットに正しく差し込む、つまり、チップの1ピンをソケットの正しい位置に合わせて差し込むように注意する必要がある。

どのピンが1ピンか、あるいは1ピンがある側がどちらかがわかるように、チップにはいろいろな方法で印が付けられている。通常は、チップの1ピンがある側の辺に切り込みを入れてその印としている。また、丸いくぼみが1ピンのすぐそばに付けられているものもある。切り込みの印が付けられたチップは、その切り込みがソケット側の切り込みに合う向きにして差し込めばよい。ソケットの1ピン位置がわかるように、回路ボード上にシルクスクリーンでマークを印刷してあることもある。また、ソケットの全ピンの番号が、ソケットのプラスチック部分に型取られているものもある。

チップを間違った向きで接続すると、恐らくコンピュータに電源を入れたとたんにチップが壊れてしまうだろう。ショートして、コンピュータがまったくブートできないこともあるかもしれない。このような失敗を犯さないように、チップを追加したときは、コンピュータのスイッチを入れる前に、もう一度チップの向きをチェックしたほうがいい。

チップをソケットに差し込む作業は、けっして簡単ではない。ICの脚を決められた場所に正確に入れるのは難しいものである。外側や内側に曲がったり、ソケットから外れて、うまく接続しないことがある。チップの脚がソケットに正しく接続されていないと、コンピュータをブートしたときにメモリエラーが発生するだけでなく、ピンが曲がっている場合には、ほかの障害の原因にもなりうる。このような問題が起こらないように、自分が搭載したチップは、1本1本の脚を丹念にチェックし、ソケットのホルダーにチップが正しく入っているかを確認する必要がある。

もしソケットに脚がうまく入っていないのを見つけたら、チップをソケットから外して、ピンをできるだけまっすぐに直し（脚は簡単に折れてしまうので、強く曲げ過ぎないようにする）、もう一度入れ直せばだいじょうぶだ。

コンピュータにメモリチップをインストールするときには、ほかにも注意が必要だ。コンピュー

タを動かすには電気が必要だが、この電気という力はメモリの最大の敵でもある。ウールのじゅうたんの上を歩くと、最高20,000Vもの静電気が発生することがあり、5V仕様のメモリチップなら簡単に破壊してしまう。可能な限りの予防策をすべて講じるのはやり過ぎだが(たとえば水道管を握って、あなた自身を接地させる必要などはない)、敢えて危険を冒す意味もまったくない。接地は簡単で、コンピュータのケースと同時に、最初にチップが刺さっていたプラスチックチューブやフォームに触るだけでいい。大切なのは、自分とコンピュータとチップを同じ電位にすることで、それには、メモリチップの脚に触る前にこの3者を一度連結すればよい。

インストールを行う際に、電源コードをコンピュータに差し込んだままにして、接地するように推奨しているメーカーも少ないながらあるが、このアドバイスは無視するほうがよいだろう。始める前にはすべてのケーブルをコンピュータから抜いたほうが安全だ。間違っても、起動中のコンピュータに、メモリチップをインストールしようなどと思ってはいけない。これはメモリチップにとっては、確実に致命的なやり方である。

メモリモジュール

メモリモジュールは、今日のコンピュータに要求される小形化により適した、省スペースのRAMである。メモリモジュールは、1回の作業で手際よくたくさんのチップがインストールできる点で、とても便利なパッケージであるだけでなく、コンピュータのメモリの使用方法にも、きわめてうまく適合するものである。ビットレベルでアドレスされるほとんどのチップと違って、メモリモジュールは通常バイト単位で動作する。チップの容量はKビットもしくはMビット単位であるのに対し、メモリモジュールはMバイト単位である。

メモリモジュールの構造は簡単で、基本となるメモリチップをもう一度集積化したものと考えればいいだろう。数個のチップが、1枚の小さなガラスエポキシの回路ボード上に一緒に載せられ、それぞれのチップのリードは、配線で互いに接続されている。最終的にこのユニットは、ソケットに差し込んだり、別の回路ボードにはんだづけするのに適当な、外部コネクタに接続される。メモリモジュールは、この外部コネクタのタイプによって大きく2つの種類に分けられる。

シングルインラインメモリモジュール(SIMMと呼んだほうが一般的だろう)では、エッジコネクタが使用されている。SIMMのコネクタ部も拡張ボードと同じで、モジュールの端に、回路基板の配線を引き出しただけのものである。通常、腐食防止と接触をより確実する目的で、この端子部分は金めっきされている。端子部分に合ったソケットに、モジュールを単独で差し込むように設計されている点も、拡張ボードと同じである。この設計により、道具を使わなくても、モジュールを傷つけずに着脱を繰り返すことができる。

シングルインラインピンパッケージモジュール(SIPP)は、ピンコネクタを使用したものである。SIPPモジュールの接続部は、下向きについたワイヤ状のピン(リード)が本体の一辺に並んでおり、SIPチップのパッケージを大きくしたような形になっている。SIPPのリードははんだづけされるか、場合によってはSIPチップと同様にソケットにはめ込むこともある。ソケットといっても、コンタクトカップ(金属の受け筒)で補強した穴が、接続側の回路ボードに並んでいるだけといったものも多い。

SIMMもSIPPも機能的には、同じメモリチップを使って、同じ技術で、同じ容量を実現できるが、実装方法が異なるため、互いに取り替えて装着することはできない。したがって、コンピュータにメモリを増設したり、故障したモジュールを取り替える場合には、コンピュータがどちらのタイプを使用しているのかを、事前に確認する必要がある。

両者のメモリモジュールは、パッケージ以外の部分でも、いくつもの種類に分けられる。メモリチップ同様、アクセス方法、容量、使用している技術が異なるのだ。

ほとんどのメモリモジュールは、バイト単位に構成されているが、必ずしも8ビットのバス幅であるわけではない。コンピュータのメモリモジュールは大抵、ディスクリートチップのメモリシステ

ムと同じ仕様で設計されており(パリティチェック機能を持っているということ)、当然そういうモジュールは、9ビット幅(8データビットとパリティチェック用の1ビット)でアクセスが行われる。一方、いくつかのシステム(AppleのMacintoshなど)や特定の用途(プリンタやビデオメモリなど)では、パリティチェックなしの8ビットモジュールが使用されている。これは、万一不良のビットが表示されたり、プリントアウトされることがあっても、それによってビジネスに何十億ドルもの損失が発生するようなことは、まずないと考えられるからである。

モジュールの場合も、ディスクリートチップと同じで、マイクロプロセッサに追加できるメモリの最小容量は、そのマイクロプロセッサのバス幅と同じ幅の1バンク分である。たとえば、386DXや486のような32ビットマイクロプロセッサであれば、1バンクあたり9ビットのメモリモジュールが、最低4個必要ということになる。当然、さらにメモリを拡張していく場合は、4個単位で増設していかなければならない。

メモリモジュールの中には、個別に32ビットのアドレッシングを行うように設計されているものもある。これは、1個のモジュールに32ビットのバス幅があって、このモジュールを使用したシステムは、一度にモジュール単位で拡張できるということである。このメモリモジュールとして最も一般的なのが、IBMのPS/2シリーズのマシンの多くに使用されているSIMMで、「IBM SIMM」と呼ばれている。また、32ビットバス幅に4ビットのパリティチェックが付いているところから、「36ビットSIMM」とも呼ばれる。さらに、コネクタ部に72個の接続点があるため、「72ピンSIMM」といわれることもある。IBM SIMMは汎用設計になっており、32ビットのPS/2だけでなく、16ビットのマシンでも使用できる。

メモリモジュールの容量は、メモリチップをはんだ付けしている人間の想像力が及ぶ限り、つまり、無制限ということになるが、実際にはいくつかの標準的なサイズがある。一般に入手可能な最小サイズは256Kバイトで、9ビットSIMMでは1Mバイトか4Mバイトの容量のものが最も使用されている。これより大きいサイズ(8Mバイト、16Mバイト)の9ビットSIMMは、あまり売られていない。このような大きなモジュールで構成できる最小バンク(32Mバイト、64Mバイト)は、現在のほとんどのユーザーが求めるメモリ容量を、はるかに超えているからだ。

IBM方式の36ビットSIMM(72ピンSIMM)は、1Mバイト、2Mバイト、4Mバイト、8Mバイト、16Mバイトの5種類の容量のものが販売されている。このSIMMでは、モジュール1個が標準のシステムメモリあるいは増設単位となるため、大きいサイズのほうが便利であり一般的である。

メモリモジュールの場合も、異なる容量のメモリの混合使用にあたっては、ディスクリートチップと同じ決まりがある。つまり、1つのバンクのモジュールはすべて同じ容量のものでなければならないということである。たとえば、32ビットコンピュータでは、1バンクが4個のモジュールで構成されるが、これらはみな同じ容量でなければならない。この例外が36ビットのIBM SIMMを使用しているマシンで、これらは一般に容量に関係なく、異なるメモリを混在させることができる(メモリボードの中には特別な規定を持つものもあるので、マニュアルを確認すること)。この場合、どのバンクも1個のIBM SIMMで構成されることが条件で、そうでない場合にこのルールに反することは現実には不可能である。

メモリモジュールはディスクリートチップでできているため、基本的にメモリチップと同じだけの種類がある。実際に、SRAM、DRAM、ページモードRAMの技術を使用したSIMMがある。ディスクリートチップ同様に、これらの技術を使用した異なるモジュールは互いに取り替えて使用することはできないため、メモリを買う場合には、コンピュータの使用するメモリの種類を確認しておかなければならない。

メモリモジュールのタイプを確認する手段として、部品番号を調べる方法がある。メーカーは部品番号を、ボードのメモリチップが乗っていないほうの面に記している。そこに部品番号がない場合は(あるいはそれ以外のどこにも見当たらないようなら)、代わりにチップ自身の仕様がわかれ

ばよい。チップのタイプは、そのままモジュールのタイプになるからだ。たとえば、256Kビットで80ナノ秒仕様のチップ9個で構成されているモジュールは、256Kビット80ナノ秒仕様のメモリモジュールなのである。

メモリモジュールのタイプを確認する際に、モジュールをソケットから外す必要があるかもしれないが、その場合は十分注意しなければならない。モジュールはチップでできており、静電気に弱い点はチップ単体と変わりがないからだ。これに対して適切な予防策を講じていれば、SIPPの場合は、取り外し作業はいたって簡単で、モジュールの両端に均等に力をかけて引き抜くだけでよい。

これがSIMMになると、取り外しはもう少し難しくなる。通常、SIMMはスロットの両端をプラスチックの爪で引っ掛けて固定されている。近づいて見ると、プラスチックのソケットの両端に引っ掛け用の爪が2つあるのが見えるはずだ。ソケットから取り外すには、まず最初に、十分注意しながら、この爪をSIMMから外さなければならない。爪を外すと、SIMMをわずかに傾けて、引っ張り出すことができる。SIMMを再度装着する場合は、モジュールを正しくソケットに置き、爪が引っ掛かって、爪のそばのSIMMの掛け穴に小さな丸いタブが現れるまで、下に強く押し下げる。

SIMMやSIPPを装着するときは、向きを間違わないように注意すること。一般に、これらはコンピュータ内で、すべて同じ方に向けて装着されている。最近のSIMMの場合、ソケットが傾斜しており、ソケットに合わせてSIMMを倒すとチップがSIMMの上側にくる。ほとんどのSIMMソケットは、逆向きにSIMMを差せないようにタブがついているので、SIMMを差してもうまく入らない場合は、方向が間違っていてこのタブに引っ掛かっているか、もしくは正しく挿入されていないのである。

5.8　メモリエラー

メモリチップ（及びメモリモジュール）は、残念ながらコンピュータの半導体部品の中では最もエラーを発生する確率の高い部品のようだ。メモリのエラーには、**ソフトエラー**と**ハードエラー**の2つがある。

ソフトエラー

メモリチップにとって、ソフトエラーは一時的な変化である。突然、場所を問わず、ビットの1つの状態が変わってしまうのである。これは、チップのエポキシケースに含まれる放射性原子がひとりでに崩壊し、チップに向かってα粒子やβ粒子を発するのが一般的な原因である（放射性原子はほとんどすべてのものに存在するが、その量はほとんど問題にはならない程度である）。粒子がチップのメモリセルにぶつかると、セルの状態に変化が生じ、そこに存在していたメモリビットにエラーが発生してしまうのだ。

幸いにもこのエラーは、メモリの1バイトごとに割り当てられているパリティビットのおかげで発見することができる。エラーが検出されるとすぐに、コンピュータはパリティエラーを警告して、自動的にシステムをシャットダウンする。ただし、チップ自体が粒子の放出によって物理的なダメージを受けたわけではないので、コンピュータをブートすればすぐにエラーは消滅する。このような放射性原子の崩壊は、そもそもめったに発生するものではなく、処理を続行してもしばらくの間はエラーが再発生することはない。

ソフトエラーの発生は予想できないため、防止策は皆無であり、ソフトエラー発生後にできることもない。唯一できることといえば、ソフトエラーについて正しく理解することだけである。

ハードエラー

メモリチップの中の一部分が実際に壊れてしま

うのが、ハードエラーである。この例としては、静電気の衝撃によってメモリセルのいくつかが破壊されることがある。最初の徴候はソフトエラーと同じで、パリティエラーによるコンピュータの停止である。異なる点は、ハードエラーの場合、何度も繰り返し発生することで、リブートしてもメモリテストをパスしないか、再びパリティエラーが発生し、メモリセルは生死の境をさまよい続けるのだ。

ハードエラーは注意が必要で、エラーが発生したチップは交換しなければならない。

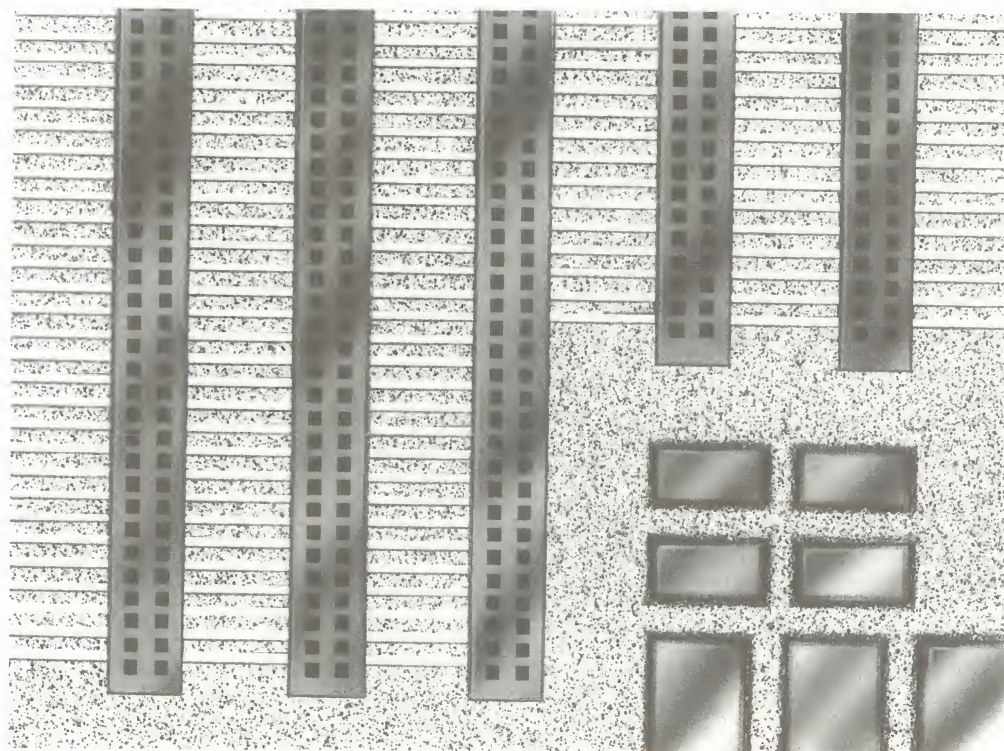
不良バンクの発見

IBMの規格に準拠しているマシンは、電源を投入するたびにシステムによって実行されるパワーオンセルフテスト(POST)の過程で、診断メッセージを画面に表示することによって、メモリエラーの発見に役立てている。パリティエラーの後には、この診断のエラーコードが現れることがときどきある。残念ながら、メモリエラーのメッセージは(このメッセージ以外にも、様々な診断メッセージがコンピュータによって表示される)普通のユーザーではなくサービスマン用に設計されており、メッセージは数字のコードで表示されるため、このコードを解釈しなければどのチップが壊れているかはわかない。

以前は、コンピュータのバンクごとに数十個のメモリが搭載されている場合など、その中から破損した1個のチップを見つけ出すのは至難の技であった。ひとつひとつのチップを交換してみることは、十分な時間とチッププラー(チップ引き抜き用の工具)がなければ不可能である。また、不良チップを突き止めるには診断ルーチンに頼るしかなかったが、これによって報告されるのは、なんだかよく分からない数値のメッセージで、これから不良のチップを見つけ出すには、調査表を調べたり、複雑な方式を解読しなければならなかった。

これに対し、SIMMベースのコンピュータなら、ほとんどの場合、不良チップを見つけ出すためには、チップ検出の公式を解読するよりも、2、3個のモジュールを交換するほうが早い。ほとんどのコンピュータには4個から8個のメモリモジュールしか搭載されていないため、モジュールを交換してみれば、ほんの数分のうちに不良モジュールに行き当たるはずだ。不良モジュールを見つけるには、ハノイの塔のパズルを解くのによく似た手法を使うのが最も効率がよい。たとえば、2個単位でモジュールをほかに移して、診断のエラーメッセージの変化を調べればよい。ただしほとんどの場合、内部のモジュールを移す際は、モジュール搭載の構造上の関係で、いやでも外側のモジュールから取り除かなければならないため、結局はモジュールのほとんどを取り出すことになってしまう。エラーが発生したときには、どのSIMMがハードエラーを起こしているか見つけて、それを良品と交換すればよいだけなので、一度やってみれば修理は思ったより簡単であることが分かるだろう。

第6章

拡張バス

PC に拡張バスがあるおかげで、システムの性能を拡張することができる。拡張バスは、内部周辺機器との高速な接続を提供することで、パーソナルコンピュータの性能を向上させる。バスが標準化されたことによって、互換性のある拡張ボードがひとつの産業を形成するまでになった。そして、ひとたび単一の標準ができあがると、今度は、マルチユーザーコンピュータ、高性能ビデオシステム、ノートパソコンなど、個々の装置に応じて最適化された拡張バスが作られ、機能拡張は分化していった。

パーソナルコンピュータのバスに、具体的な形を与えたものが**拡張スロット**である。拡張スロットとは、システム内部にあって、底部に電気的なコネクタを備え、背面にブラケットを取り付けた、専用の細長い空間を指す。拡張バスの利用によって、新たなパワーや性能を実現することができるが、その果たす役割はいたって単純で、パーソナルコンピュータに周辺機器を接続できるようにすること、そして、望むらくは、操作性を高めることである。拡張バスの設計いかんで、パーソナルコンピュータの機能がどれだけ高まるかが左右される。バスが拡張機器の互換性の基本部分を定義しているからだ。したがって、拡張バスの設計によって、同時にシステムの性能と、システムの能力の限界も決まってくる。

IBM が最初の PC 用に開発した拡張バスは、小型コンピュータ業界にとって大きな収穫であった。何もないところに単一の標準を作り上げたからである。おかげで拡張ボードのメーカーは、その標準の寸法や信号の配列に沿って製品を作れるようになった（ただし、IBM は、信号のタイミングは定義していない）。

PC バスの強みは、IBM の後押しがあったことである。それだけの理由で、多くのユーザーはこのバスを使わざるをえなかった。従来の拡張バスと比較して特に優れていたからというのではなく、単にそれが IBM マシン用だったからである。IBM のバスは技術的は特に目新しくはない単純な設計であり、ある意味では、時代を後戻りしたとさえいえる。たとえば、CP／M マシンで広く使用されていた S−100 規格のバスは、PC バスよりも柔軟性や機能性に優れていた。S−100 にはデータラインが最低でも 16 本あったが、これよりも後にできた IBM バスには 8 本しかない。さらに、S−100 が拡張ボードの 100 個の信号に 100 個の接点を提供していたのに対し（これが S−100 の名前の由来である）、IBM バスには 68 個しかない。

結局、PC バスの単純さと、単純さゆえの低価格がユーザーに受け入れられたのである。それでも、PC バスは必要な機能はすべて備えていたし、なおかつ、それなりに能力を発揮してもいた。そして、IBM PC が大きなシェアを獲得したことにより、各ボードメーカーは PC バス対応にせざるを得なかったのである。かくして標準規格ができあがった。

6.1 バスの基本構成

基本コンセプトが単純だからといって、拡張バス自体も単純かというと、けっしてそうではない。システムの設計を複雑にすれば、それがバスにも反映するからである。設計は必要に応じて選択可能だが、中には必須のものもある。

必要不可欠なものの中で重要なのは、増設回路やマイクロプロセッサなどの間でデータ転送を行うのに必要な接続である。接続には、マイクロプロセッサからのデータラインやアドレスラインも含まれる。さらに、ホストコンピュータの信号と増設回路の信号を同期させる、特殊な信号も必要である。新しいバスには、システムの制御権を増設機器に渡すことで、データ転送をより高速に行う機能も用意されている。

実際の設計では、これらの接続をどのように配列するか、また、システムと増設機器を繋ぐのにどのコネクタを使うか、あるいは、増設機器のサイズをどうするかといった点を明確に定めなければならないが、これらについては、選択の余地がない要素(たとえば、必要な回路に見合うだけの接続が必要で、コネクタは実際に販売されているものの中から選ぶなど)を除けば、基本的に可能性は無限であるといってよい。これを考えれば、たくさんのバスが、互換性のない様々なコンピュータシステムのために開発され、使われたのも不思議ではない。

データの処理

拡張バスの最も重要な機能は、マイクロプロセッサと周辺機器、あるいは拡張ボード相互の間のデータ転送である。したがって、拡張バスのデータパスが、マイクロプロセッサのデータパスに一致しているのが理想的である。バスとマイクロプロセッサのデータパスが同じなら、1ワードあるいは最近の32ビットチップで使われている1ダブルワードの転送は1回ですむ。バスが信号を送受信する装置よりも狭いと、データはいったんまとめ直してから転送しなければならない。たとえば、16ビットや8ビットのバス幅では、ダブルワードのデータを転送する際に、2つのワードデータや4つのバイトデータに分割する作業が必要になる。そして、この作業を行う回路によって、マザーボードと拡張ボードの双方が複雑になってしまう。また、このようにバス幅が狭いと、ダブルワードを転送するのに2回ないし4回データの交換をしなければならず、その分余計に時間がかかることになる。

拡張バスにおいては、何本のデータラインを持つかということが重要である。通常、多いほうがよいとされるが、ホストマイクロプロセッサのデータライン数より多いとかえって複雑になる。

アドレスの範囲

データが手元にあっても、それだけでは転送はできない。そのデータについて、どこからどこへ行くのかを決めなければならない。郵便局を例にとると、封書に住所を書かないと、配達不能な郵便物がどんどんたまってしまうのと同じである。したがって、拡張ボードは、データの始点と終点を指定してやる必要がある。この指定は、拡張バスのアドレスラインとマイクロプロセッサのアドレスラインが対応していれば、一番簡単だ。

マイクロプロセッサのアドレスラインと同様に、バスがアドレス指定できるメモリの最大領域は、バスのアドレスラインによって決まる。バスには、ホストマイクロプロセッサと同数のアドレスラインが備わっているのが普通だが、中には少ないものもある。マイクロプロセッサの上位のアドレスが含まれていない場合(たとえば各アドレスの最上位ビット)、拡張ボードには使用不可能なアドレス範囲ができてしまう。しかし、386や486マシンでは、最下位の2つのアドレスビットを削除するのが一般的である。この方法だと、メモリを識別する精度が制限されてしまうが、386と486マシンにとってはその方が都合がいい。これらのチップは4バイト単位でしかアドレス指定を行わないため、アドレスの下位2ビットを指定する必

要がないからである。

アービトレーションとバスマスタ

最初のPCの拡張バスは、本質的にはマイクロプロセッサの接続を、ほんの少し延長させただけのものに過ぎない。これは後のXTバスも同じである。マイクロプロセッサのデータラインやアドレスラインと直接に接続されたバスを、**ローカルバス**という。これは、このようなバスが、マイクロプロセッサに近い、ごく限られた範囲にあるデバイスに対してしか機能しないことからこのように呼ばれている。しかしPCでは、システムの拡張を可能にし、設計がより複雑な拡張ボードからマイクロプロセッサを切り離すために、電気的特性をいくらか変える必要があった。

チップに繋がるすべての信号に、パッケージの専用のピンが割り当てられているわけではない。8088では、いくつかの信号は組み合わされ、多重化されてピンを共有することで、少ないピンの数でも間に合うようになっている。コンピュータのほかの回路がこれらの接続を使用するときは、その前に多重化を解除しなければならない。また、8088チップは、拡張スロットに接続される複数の装置を駆動するのに、十分な電流を供給できるようには設計されていないため、マイクロプロセッサの接続では、電流を増幅するようになっている。つまり、周辺装置を駆動するのに使用される電流をブーストする、**バッファ**と呼ばれるデジタル増幅器が追加されているのである。

PCバスの設計によって、拡張バス上に接続されたものはすべて、マイクロプロセッサに直接繋がり、マイクロプロセッサによって直接に制御される。バスを経由するデータは、すべてマイクロプロセッサが転送しているのである。たとえば、マイクロプロセッサがレジスタの1つから、1バイトのデータをメモリへ転送しようとした場合、最初のバスサイクルでデータを格納するアドレスが送信され、続いて、メモリシステムがデータを受け取るためにそのアドレスの準備をする。次のバスサイクルで、マイクロプロセッサはデータのビット値をバスに置き、メモリのサブシステムはこのビットを回収してDRAMチップに格納する。ここに示した単純なバス転送動作の速度は、バスの速度によって決まり、バスの速度はマイクロプロセッサの速度と直接的な関係を持っている。しかし多くの場合、バスの動作はこのように簡単にはいかない。1バイトのデータを転送するたびに、マイクロプロセッサはマシン語のインストラクションを繰り返し実行しなければならない。転送が複雑になるに従い、バス転送の性能は、それを左右するあらゆる要素の中で、何よりもマイクロプロセッサの速度に左右されるようになる。マイクロプロセッサがバス転送の始点であっても終点であっても、あるいはそのどちらでもなくても（モニタ上に画像を呼び出すために、ハードディスクからビデオメモリにデータを転送する場合など）、この動作の負荷はマイクロプロセッサにかかるのである。

しかし実際には、拡張バスの制御でマイクロプロセッサに負担がかかることはない。マイクロプロセッサはバスの制御を、DMA（Direct Memory Access）コントローラなどの専用の回路に任せているからである。ただし、実際のデータ転送をDMAチップが制御していても、多くの場合、マイクロプロセッサはDMAチップと連携して、バス転送の期間中、DMA転送のセットアップや監視を行わなければならない点は変わらない。

新たな技術によって、バス制御の中心的役割は、マイクロプロセッサから**調停機能付き拡張バス**（arbitrated expansion bus）という専用の論理回路に移った。この設計では、制御の全権を譲り渡したマイクロプロセッサは、システムの中の拡張ボードの1枚とみなされる。マイクロプロセッサは、バス転送の始点と終点は制御するが、システム内のほかの装置間の転送にまで関わる必要はない。

データの転送に介入し、拡張バスの制御を引き受ける機能を持つ装置を**バスマスタ**という。また、バスマスタからデータを受け取る装置を**バススレーブ**または**ターゲット**という。この設計の中心に位置する回路は、どの装置がバスを制御するのかを決定しているだけで、このプロセスを**バスアービトレーション**（**バスの調停**）という。

同期動作と非同期動作

IBMのPC、XT、Portableでは、マイクロプロセッサと拡張バスが直接つながっているため、バスクロックはマイクロプロセッサと同期して動作する。つまり、PCバスを制御するクロックは、マイクロプロセッサを制御しているクロックとまったく同じ速度である。事実、クロックはまったく同じもので、同一の振動数の水晶発振器で制御されている。

この設計は、8088チップがそれほど高速ではなかったために、PCにとっては有効ではあったが、より速いマイクロプロセッサが求められるようになると、クロックスピードは拡張ボードの限界を超えてしまった。クロック周波数が、PCの4.77MHz、XTの6MHz、ATの8MHzと高速化するにつれ、拡張ボードの多くはついてゆけなくなった。高速なシステムで信頼性のある動作ができないこれらの拡張ボードは、市場からは消えていくしかなかった。

12MHzのマシンが登場して、さらに多くの拡張ボードが脱落し、16MHzマシンの登場におよんでは、ほとんどが機能しなくなった。そうなると、マイクロプロセッサとバスの速度を同じにするという原則を崩すしかない。現在のほとんどの高速マシンは、マイクロプロセッサとバスの速度が異なるが、この異なる2つの速度を同期させるために、バスはマイクロプロセッサのクロックの約数の周波数で動作している。たとえば、33MHzマシンの拡張バスは8.25MHz、つまり、マイクロプロセッサの4分の1の速度で動作させているのである。

きちんと設計されていれば、マイクロプロセッサとバスの速度を同期させる必要はない。この**非同期拡張バス**設計によって、コンピュータの回路の設計は比較的自由にできるようになった。非同期バスは、バス制御のロジックが複雑になるのが難点であるが、技術が進んで、必要な構成回路はすべて1個のASIC(Application Specific Integrated Circuit)に集積できるようになり、非同期バスは現実的でかつ手頃な価格になっている。たとえば、IBMのマイクロチャネルコンピュータは、マイクロプロセッサの速度にかかわらず、バスは名目上10MHzで動作している。ここで注目されるのは、非同期バスはどんな速度でも動作できることである。実際、装着された拡張ボードの最高速度に合わせ、さらに、転送の際に使用されるボードの速度に合わせて、その速度を切り換える場合もある。

二重バスのコンピュータ

1台のコンピュータに拡張バスは1本だけという決まりはない。実際、1つのバスだけでは無理がある場合も出てきた。マザーボードに組み込まれている分を超えたメモリは、バスに接続されなければならないが、このときバスが1つしかないと、メモリは、遅いボードに速度を合わせなければならないという、拡張バスの〝同速度原則〞の弊害を被ることになる。つまり、50MHzの高速マシンであっても、メモリがアクセスされるたびに、ほとんどの場合8.25MHzにまで速度が落ちてしまうのである。

パーソナルコンピュータを可能な限り速く動かすためには、マイクロプロセッサとメモリの速度を上げればよいと思うかもしれないが、これでシステム全体の性能が上がるわけではない。拡張バスに装着したカードの速度を超えることはできないからだ。この問題を解決しようとすればメモリとI/O機能を分離するしかない。

マイクロプロセッサとバスは、必ずしも同じ速度にする必要はないが、メモリも無理にI/Oと同じ速度にまで落とす必要はない。ただ、そうすれば設計が簡単になるというだけのことである。バスコントローラのレベルでは、拡張バスを2つに分けて、メモリ用とI/O用の平行したデータパスを設定することも可能である。これなら、メモリはどんな高速のチップにも対応することができる。拡張バスも8MHz程度の速度で、市販の拡張機器を確実に動作させることができる。

1987年初め、Compaq Computer Corporationが発表した16MHzの「Deskpro 386」は、このアイデアを実現したものである。Deskproは、最初の**二重バスコンピュータ**として、マイクロプロセッサの速度で動作するメモリ用のバスと、拡張機器に合わせた低速で動作する入出力用のバスの2つ

のバスを備えていた。現在のパーソナルコンピュータはすべてこの二重バスか、それをさらに進めた複雑な設計を採用している。

6.2　最初のPC／XTバス

これから述べる内容を読むと、コンピュータのバスは、何か複雑なもののような気がするかもしれない。しかし、どんなに多くの接続があろうとも、拡張バス自体は実に単純なものである。初期のPCバスを例にとって、バスの信号がどのように働くかを示す。

PC／XTバスで使われる62本のピンは、次のように割り当てられている。

- 電源接地用に3本
- コンピュータ周辺で必要な各種の電力供給用に5本(直流5Vに2本、−5V、−12V、12Vに各1本)
- アドレスラインに12本
- データラインに8本
- 割り込み用に10本
- 残りはほかの接続用

キャンディの成分表と同じで、専門用語が並ぶだけで難しいと思うかもしれないが、実はどれもまったく単純である。

オシレータラインは、コンピュータ内のすべてのクロックやタイマーを動かす水晶発振器から直接発生した信号を供給する。水晶発振器は14.31818MHzで、コンピュータ全体の単一の周波数標準である。

この半端な数字には意味がある。この周波数はマイクロプロセッサの速度のちょうど3倍で、テレビや安価なモニタがカラー信号を同期させる周波数の4倍である。1つの発振器でも周波数分周器(ディバイダ)によって、マイクロプロセッサにもディスプレイシステムにもというように、多目的に対応することができる。

クロックラインは、発振器で発生した信号用である。この信号は電気的に4分割され(4.77MHzになる)、マイクロプロセッサやほかの回路に供給され、すべての論理演算のタイミングをとったり同期させたりする。

I／Oチャネルチェックラインは、マイクロプロセッサがPCバスに接続されたメモリや各装置の完全性をチェックするためのものである。このライン上の信号に割り込みが入ると、パリティチェックエラーが発生したことがマイクロプロセッサにわかる。このラインを接地させるとシステムは壊れてしまうことがある。

PCバスの**リセットドライバ**ラインにパルスが送られると、システム全体にリセットあるいは初期化が命令される。システムの電源がオンになったり、電源に割り込みがかけられた場合は、かならずこのラインに信号が生成される。

データラインは、コンピュータの様々な場所に、デジタル情報をパラレル形式で運ぶものである。また、メモリと入出力装置間の情報のやりとりにも使用される。PCバスの8本のデータラインは、0番から7番までの番号で識別され、0番のラインは最下位ビットの情報を伝える。

アドレスラインは、情報データを格納したり取り出したりするメモリのアドレスを指定する。全部で20本のアドレスラインは0から19の番号で識別され、これも0番は最下位ビットを伝える。

マイクロプロセッサによるバス制御

メモリを読み書きする際、マイクロプロセッサはまず、使用するメモリのアドレスをアドレスラインに送り、それからパルスを**アドレスラッチイネーブル**ラインと呼ばれる専用のラインに送る。このラインによって、バスに接続された装置に有効なアドレスが送られたことが通知されると、装

置は**ラッチ**（回路が電気的にアドレスを保持すること）によってアドレスを記憶する。最後に、マイクロプロセッサが**メモリ読み出しコマンドライン**に信号を送り、メモリコントローラに対して、指定されたアドレスのデータをデータラインに置くように指示する。同様に、マイクロプロセッサは、**メモリ書き込みコマンドライン**に信号を送って、メモリコントローラに、データラインに置いたデータを、指定されたアドレスに格納するように指示することもできる。

また、データラインは、特殊な目的を持った別の信号線で、データを入出力装置に送る際にも使用される。**I／O読み出しコマンド**ラインは、I／Oポートからデータラインへデータを移動させるように装置に指示するもので、これによって、マイクロプロセッサはレジスタに情報を読み込むことができる。**I／O書き込みコマンド**ラインは、入出力装置に対して、マイクロプロセッサが送ったデータライン上のデータを取り出して、I／Oポートへそれを移動するように指示するものである。

マイクロプロセッサは、入出力装置やメモリよりも速くデータを生成したり要求したりできるため、PCバスはほかの装置が追いつくまで、マイクロプロセッサを待たせておく機能も備えている。メモリコントローラあるいは入出力装置は、**I／Oチャネルレディ**ラインから〝レディ〞の信号を消すことによって、マイクロプロセッサに、1つないしそれ以上のクロックサイクル分待つように伝える。

マイクロプロセッサがバスを使用しようとしたときに、クロックサイクルの最初でこのラインに〝レディ〞の信号が見つからなければ、次のクロックサイクルまで待ち、レディ信号が見つかるまで待機を続ける。IBMの仕様では、待機の最大時間は10クロックサイクルになっている。

DMAによるバス制御

データの転送は、マイクロプロセッサを利用するより**DMA**を利用したほうがはるかに速い。ただしその場合、アドレスラインとデータラインの両方がDMAの制御下に置かれることになる。さらに、バスに接続されている各装置がデータを転送するときには、DMAコントローラに信号を送る必要があり、また、転送完了後にはDMAコントローラはシステムに信号を返さなければならない。これらの動作のために、数本のバスラインが使用される。

アドレスイネーブルラインは、マイクロプロセッサが、DMAコントローラに制御権を譲るために、バスとの接続を解消したことを伝えるものだ。このラインに信号が出力された後は、DMAコントローラが、メモリとI／O読み書きコントロールラインに加えて、アドレスライン、データラインを引き受けることになる。

DMAによるメモリの転送を終了すると、**ターミナルカウント**ラインに信号が送られる。この名前は、DMA転送で移動したバイト数のカウントの終了（ターミネーション）を表わしていることから付けられた（転送されるデータを正確にカウントするため、移動するバイト数は転送を始める前に示されなければならない）。

各装置がDMAコントローラにDMA転送を要求する場合は、3本ある**DMAリクエスト**ラインのうち1本に信号を送る。3本のラインには1から3の番号が割り当てられ、小さい順に優先権がある。つまり、1番が最初、3番が最後になる。

DMAコントローラは、DMA転送を要求する信号を受け取ったことを、システムのほかの部分に伝えるために、4本の**DMAアクノリッジ**ラインを使用する。内3本は、バス上のDMA要求の確認に使用され、要求が受け付けられる順に番号が割り当てられている。0の番号が割り当てられている残りの1本は、メモリがリフレッシュされていることを知らせ、ほかの装置からPCバスの使用権を奪うものである。

5本の**割り込み要求**ラインは、各装置からマイクロプロセッサへ注意を促すためのハードウェア信号を送るのに使用される。マイクロプロセッサはこの信号を受け取ると、一時的に別の処理へ移行する。割り込み要求ラインには、2から7の番号が割り当てられており、番号の小さいものが優先順位が最も高い。

バス上には、0番と1番の割り込みは存在しないことになるが、これはシステムボードの回路内で、コンピュータ本体が内部的に使っている。0

番はシステムタイマが制御し、毎秒18.2回の速度で周期的に割り込みを生成している。1番はキーボード用で、キーが入力されるたびに割り込みを生成する。さらに、**マスク不能割り込み（NMI）**と呼ばれる特殊な割り込み（ソフトウェアを使った通常のシステム操作では、マスクしたりオフにしたりすることのできない割り込み）が、パリティエラーをマイクロプロセッサに伝えるのに使用されている。

NMIは、PCおよびXTのI/Oポート0A0h番にある**NMIマスクレジスタ**を使ってオフにすることができる（似たような機能はほかのIBMコンピュータにもあるが、ポートは異なる）。00hをこのレジスタにロードすると、NMIはマスクされ、コンピュータがパリティエラーによって中断することはなくなる。レジスタに80hをロードすると、NMIがふたたび有効になる。**表6-1**はDOSのDEBUGプログラムでこの操作を行う一例である。

表6-1　DEBUGを使ってNMIをオフにする方法

入力手順	説明
NMIをオフにしてパリティエラーでシステムが停止しないようにする手順	
DEBUG	DEBUGプログラムをロードする
-rax	AXレジスタを読む
AX 0000	現在のAX値が表示される
;0a	ポート0A（hex）にレジスタをロードする
-o 00	AXのポートに00（hex）を出力する
-q	DEBUGプログラムを終了してDOSに戻る
NMIをオンにしてパリティエラー検出でシステムが停止するようにする手順	
DEBUG	DEBUGプログラムをロードする
-rax	AXレジスタを読む
AX 0000	（現在のAX値が表示される）
;0a	ポート0A（hex）にレジスタをロードする
-o 80	AXのポートに00（hex）を出力する
-q	DEBUGプログラムを終了してDOSに戻る

NOTE：ポート0Ahは、PCクラスのマシン用で、ATクラスのマシンではポート070hを使ってNMIが制御される。ATマシンで上記の手順を行う場合は、ポート番号にはこの値を使用する。

XTの8番スロット

通常、バスのコネクタは、位置が同じなら信号はまったく同じである。IBM環境ではこれが原則となっているが、例外もある。IBM XTシステムの電源の一番近くにある短い8番スロットがそれで、ほかのIBM PCの8ビットのバススロットとは電気的に異なっている。このスロットでは、最初のPCバスでは予約状態（未使用）の接続が、**カード選択**機能に割り当てられている。

ほかの拡張スロットとは異なり、XTの8番スロットはほかのスロットから電気的に切り離されている。通常の動作では、システムボードのドライバは8番スロットを無視する。カード選択ラインがアクティブの場合のみ、システムボードはそれに応答してカード上の回路と接続する。接続された後の分離はカード自身が制御する。これは、特殊な目的のアダプタ（たとえば3270 PCのマルチボードエミュレーション機能など）を想定した結果生まれた機能である。

8番スロットに対応していない拡張ボードをそ

こに装着しても、正常には動作しない。8番スロットに対応していない製品は少なく、通常はその旨の注意書きが明記されているはずだ。短いPCバス用の拡張カードのベンダーの多くは、この特殊な拡張スロットに対応できるように、製品にジャンパスイッチかDIPスイッチを付けている。このスロットを使用する際には、接続したいボードの互換性を確認し、必要ならそのセットアップを修正しなければならない。

表6-2は標準のXTの拡張バスのピン配列である。

表6-2　8ビットPCバスのピン配列

ピン	信号	ピン	信号
B1	グランド	A1	I／Oチャネルチェック
B2	リセットドライブ	A2	データ7
B3	+5V／DC	A3	データ6
B4	割り込み要求2	A4	データ5
B5	−5V／DC	A5	データ4
B6	DMA要求2	A6	データ3
B7	−12V／DC	A7	データ2
B8	カード選択(XTのみ)	A8	データ1
B9	+12V／DC	A9	データ0
B10	グランド	A10	I／Oチャネルレディ
B11	メモリライト	A11	アドレスイネーブル
B12	メモリリード	A12	アドレス19
B13	I／Oライト	A13	アドレス18
B14	I／Oリード	A14	アドレス17
B15	DMAアクノリッジ3	A15	アドレス16
B16	DMA要求3	A16	アドレス15
B17	DMAアクノリッジ1	A17	アドレス14
B18	DMA要求1	A18	アドレス13
B19	DMAアクノリッジ0	A19	アドレス12
B20	クロック	A20	アドレス11
B21	割り込み要求7	A21	アドレス10
B22	割り込み要求6	A22	アドレス9
B23	割り込み要求5	A23	アドレス8
B24	割り込み要求4	A24	アドレス7
B25	割り込み要求3	A25	アドレス6
B26	DMAアクノリッジ2	A26	アドレス5
B27	ターミナルカウント	A27	アドレス4
B28	アドレスラッチイネーブル	A28	アドレス3
B29	+5V／DC	A29	アドレス2
B30	オシレータ	A30	アドレス1
B31	グランド	A31	アドレス0

6.3 16ビットATバスへの拡張

ATが登場するまでの3年の間に、最初のPCバスにも、様々な欠点が指摘されるようになった。マイクロプロセッサ(8088はそろそろ過去のものになろうとしていた)の能力に限りがあるため、PCバスでは、メモリのハンドリングやデータパスの幅に限界があり、また、業界の唯一の標準となるようなデスクトッププラットフォームへ成長するには、PCにはシステムサービスが少なすぎたのである。たとえば、システムの多くは、拡張スロットか不足する以前に、まずハードウェア割り込みが足りなくなってしまっていた。そのとき、技術者たちの目の前には、おびただしい数のPCバス用拡張機器があったが(その多くはIBM製であった)、バスが変わるようなことがあれば、そのいずれもが互換性のないものになってしまう。バスを最初から設計し直すとすれば、拡張機器もまったく別のものを作らざるを得ないことになり、互換機メーカーは、IBMマシンの標準たる地位がゆるぎかねないほど反発しただろう。

こうした相反する要求を満たそうとした結果、新しいATバスが誕生した。このATバスはPC用の拡張機器にも対応しながら、16ビットのテクノロジーをフルに生かせる機能も搭載できるという、まさにハイブリッドなバスであった。さらに、後のマイクロチャネルを彷彿とさせる、いやその前兆ともいえる新しいアイデア(少なくともPC互換機にとっては)が採用されている。ATバスに本来備わっているこの機能は、まったく使用されることはなかったが、1つのシステムに2つのマイクロプロセッサを共存させることが可能で、そのどちらのマイクロプロセッサも制御能力を有し、リソースを共有することができるのである。

PC/XTバスとATバスの物理的な大きな違いは、新たにコネクタが追加されたことである。このコネクタによって、ATバスにはアドレスラインが4本、データラインが8本増えて、それぞれ合計16本と24本となり、80286チップの物理アドレスの限界である16Mバイトにも充分対応できるようになった。また、PCバスの拡張性を制限してしまっていた問題を解消するため、ATバスは新しい割り込みラインとDMA制御ラインも数本ずつ備えた。加えて、IBMは新しい接続を追加している。そのうち1つは、拡張ボードが、IBMパーソナルコンピュータの8ビットおよび16ビットラインのどちらとも互換性が持てるようにするものである。この接続によって、装着されたカードがPCバス、ATバスのどちらを使用するのか信号でホストに知らされるのである。

このように、すでに定着していた62ピンのコネクタを設計しなおすのではなく、新たに別のコネクタ1基を加えて必要な新しいバスの接続を増やすという、単純かつ画期的なひらめきによって、PCバスとの物理的な互換性の維持は実現された。8ビットのインターフェイスしか必要ない拡張カードや、プロテクトモードメモリやほかの進んだATのシステムサービスにアクセスする必要のない拡張カードを、8ビットおよび16ビットのIBM標準マシンと完全に互換性を持つように設計できたのである。拡張カードは、追加されたコネクタを通して、ATの速度と高い性能を享受できる。この設計によって、拡張カードは、装着されたホストに合わせて、8ビットあるいは16ビットの拡張機能を使用することさえできる。

またAT設計は、ほとんど直接に接続されていたマイクロプロセッサとバスの間を、分離できるように設計されていた。したがって、マイクロプロセッサと拡張バス(システムタイマも同様である)は、それぞれ別のクロックを使用できるのである。これにより、拡張バスは、マイクロプロセッサの速度よりも遅く動作することが可能となった。

AT バスは、様々な部分で満足のできる仕様であることが分かったため、規格認定機関である IEEE（電気電子学会）は、バスタイミングも含めたバスの標準規格を制定するための委員会を設置した。つまり、AT バスが標準たるバスであることが、IEEE によって認められたのである。以来、AT バスは**インダストリアルスタンダードアーキテクチャ**として知られるようになった。現在では ISA、クラシックバス、AT バスなどとも呼ばれている。表 6-3 に 16 ビット AT バスのピン配列を示す。

表 6-3　標準 16 ビット AT 拡張バスのピン配列

ピン	信号	ピン	信号
B1	グランド	A1	I／O チャネルチェック
B2	リセットドライバ	A2	データ 7
B3	＋5V／DC	A3	データ 6
B4	割り込み要求 9	A4	データ 5
B5	−5V／DC	A5	データ 4
B6	DMA 要求 2	A6	データ 3
B7	−12V／DC	A7	データ 2
B8	ゼロウエイトステート	A8	データ 1
B9	＋12V／DC	A9	データ 0
B10	グランド	A10	I／O チャネルレディ
B11	リアルメモリライト	A11	アドレスイネーブル
B12	リアルメモリリード	A12	アドレス 19
B13	I／O ライト	A13	アドレス 18
B14	I／O リード	A14	アドレス 17
B15	DMA アクノリッジ 3	A15	アドレス 16
B16	DMA 要求 3	A16	アドレス 15
B17	DMA アクノリッジ 1	A17	アドレス 14
B18	DMA 要求 1	A18	アドレス 13
B19	リフレッシュ	A19	アドレス 12
B20	クロック	A20	アドレス 11
B21	割り込み要求 7	A21	アドレス 10
B22	割り込み要求 6	A22	アドレス 9
B23	割り込み要求 5	A23	アドレス 8
B24	割り込み要求 4	A24	アドレス 7
B25	割り込み要求 3	A25	アドレス 6
B26	DMA アクノリッジ 2	A26	アドレス 5
B27	ターミナルカウント	A27	アドレス 4
B28	アドレスラッチイネーブル	A28	アドレス 3
B29	＋5V／DC	A29	アドレス 2
B30	オシレータ	A30	アドレス 1
B31	グランド	A31	アドレス 0

ピン	信号	ピン	信号
D1	メモリ 16 ビットチップセレクト	C1	システムバスハイイネーブル
D2	I/O16 ビットチップセレクト	C2	未ラッチアドレス 23
D3	割り込み要求 10	C3	未ラッチアドレス 22
D4	割り込み要求 11	C4	未ラッチアドレス 21
D5	割り込み要求 12	C5	未ラッチアドレス 20
D6	割り込み要求 15	C6	未ラッチアドレス 19
D7	割り込み要求 14	C7	未ラッチアドレス 18
D8	DMA アクノリッジ 0	C8	未ラッチアドレス 17
D9	DMA 要求 0	C9	メモリリード
D10	DMA アクノリッジ 5	C10	メモリライト
D11	DMA 要求 5	C11	データ 8
D12	DMA アクノリッジ 6	C12	データ 9
D13	DMA 要求 6	C13	データ 10
D14	DMA アクノリッジ 7	C14	データ 11
D15	DMA 要求 7	C15	データ 12
D16	+5V/DC	C16	データ 13
D17	マスタ	C17	データ 14
D18	グランド	C18	データ 15

16ビットのデータバス

8 ビットから 16 ビットへとデータビットを拡大すると、データラインを 8 本追加しなければならない。この追加された 8 本には、8～15 までの番号が割り当てられており、8 を先頭に数字が大きくなるに従って、上位の桁になる。

1 台のコンピュータの中に、8 ビットと 16 ビットの両方のデバイスが同時に存在することは可能であるが、その場合、メモリや入出力操作を何ビットで行っているのかを示す機能が必要になる。IBM は、この目的に様々な信号を使用している。1 つは**システムバスハイイネーブル**と呼ばれる信号で、これは 16 ビットデータの転送時のみアクティブになる。さらにこのとき、拡張カードは、**メモリ 16 ビットチップセレクト**信号と **I/O 16 ビットチップセレクト**信号を使って、データの転送を 16 ビットの操作で行っていることをホストシステムに知らせる。どちらの信号が使われるかは、転送がメモリで行われているのか I/O 装置で行われているのかによって決まる。

メモリのアクセス速度を落とす信号としては、**I/O チャネルレディ**信号があるが、このほかに、AT バスには速度を上げる信号もある。**ゼロウェイトステート**信号は、現在のバスサイクルが、ウェイトステートなしで完了できることを知らせるものである。

24ビットのアドレス指定

AT に採用されている 80286 マイクロプロセッサでは、物理アドレス領域が 16M バイトあるが、これに対応するため、IBM は AT バスのアドレスラインを、4 本増やすのではなく、一気に 8 本増やして 24 本にした。

新しいアドレスラインは、〝ラッチしない〟という点でそれまでのものとは違っている。すなわち、メモリサイクルの間、システムボードにアドレスの値は保持されないのである。代わりに、アドレス値は、メモリ読み書きコマンドが与えられた時点にのみ有効で、この後は不定になる。必要な間だけアドレスを保持する責任は、拡張ボードが持

つ。この技術によって、バスの高速化を図っているのである。

AT バスの**メモリリード**と**メモリライト**の機能は、追加されたコネクタのほうへ移された。PC バス(8 ビット)でこれらの機能に使用されていた接続は、リアルモードメモリの操作だけに使われている。

リアルモードのアドレス領域の 1M バイト内でメモリの転送を行う際は、新旧両方のメモリリードとメモリライトのラインがアクティブになっていなければならない。一方、1M バイトの範囲を超えた領域で読み書きしようとする場合には、追加コネクタのメモリリードとメモリライトのラインだけがアクティブになる。したがって、8 ビットのカードは、1M バイトを超える範囲のメモリアクセスについては、コマンドを受けることも出すこともない。

追加されたシステムサービス

マルチシリアルポート、ハードディスク、テープシステムなどの周辺機器を、PC や XT に接続した際にたびたび発生した DMA チャンネルと割り込みの不足を解消するために、IBM はそれぞれを事実上 2 倍に増やした。DMA コントローラは 2 組になり(そのうち 4 本は 8 ビットチャネル用、残り 4 本は 16 ビットチャネル用)、1 組はシステムボード専用に当てられている。DMA チャンネルの機能と優先順位は PC のパターンを踏襲しており、DMA チャネル 0 が最も優先度が高く、7 が最も低い。

また、ほぼ 2 倍になった割り込みには 8 から 15 までの番号が与えられたが、そのすべてが拡張バス上に現れるわけではなく、0、1、2、8、13 の 5 本はシステムボード用である。さらに、AT には割り込みが共用できる機能が加わり、1 つの割り込みで複数の機能に対応することが可能になった。

複数のマイクロプロセッサによるバスの共用

IBM は、XT の 8 番スロットで PC バスにさらなる性能を加えようとした。AT では、1 つのバスを複数のマイクロプロセッサが共用できる機能がサポートされている。

バス共用は DMA サイクルの働きに似ている。たとえば、2 個のマイクロプロセッサがバスを共用しようとする場合、2 個目のマイクロプロセッサが搭載されている拡張カードが、まず DMA 要求をアクティブにする。カードがアクノリッジを受けると、そのマイクロプロセッサがバスのマスタラインをアクティブにし、これによってバスのアドレスライン、データライン、コントロールラインのすべての制御権がそのチップに渡される。すると、短い間ではあるが、2 個目のマイクロプロセッサがコンピュータを一手に引き受けることになる。

この短い間とは、メモリのリフレッシュを行うためホストに RAM へのアクセスを要求するまでの間である。もし、2 個目のマイクロプロセッサが 15 マイクロ秒以上バスを占有しようとすると、ホストはメモリとデータを失ってしまう。2 個目のマイクロプロセッサがすべての制御を牛耳っているため、ホストは自分自身のメモリをリフレッシュすることさえできなくなってしまうからである。

また、AT バスは、メモリのリフレッシュを行っている間に割り込まれるのを防ぐために、警告としてリフレッシュ中であることを示す**リフレッシュ**信号も出力する。

6.4　マイクロチャネルアーキテクチャ

1987年までは、バスとマイクロプロセッサの速度差は、パーソナルコンピュータの性能を抑えてしまう諸悪の根元と見なされていた。マイクロプロセッサがますます高速化していく一方で、バスは8MHzのままであり、拡張バスはどのパーソナルコンピュータでも明らかにボトルネックになっていた。パーソナルコンピュータ業界では、新しい規格の必要性が高まるばかりだった。

IBMは、「PS/2シリーズ」を発表してこの問題の解決策を打ち出した。この自信作の設計は、ISAバスとはまったく異なり、メインフレームコンピュータで使われていた技術を数多く採用していた。完全な優先順位機能を持ったアービトレーションを行うバスマスタもその一例である。さらにこの新しい設計によって、32ビット拡張機器の標準規格がなかったパーソナルコンピュータ業界に、IBM認定の32ビット拡張バス規格がもたらされることになった。

この新しいバスは、ハイエンドのPS/2シリーズを実現する上で大きな役割を果たした。その設計は、PCバスやATバスとはまったく異なるため、IBMはこれに**マイクロチャネルアーキテクチャ**(**Micro Channel Architecture**)という新しい名前を付けた(これはIBMの登録商標であり、略して**MCA**と呼ばれることもあるが、このイニシャルは、かつてはMusic Company of Americaとして知られた映画、メディアの複合企業の登録商標でもある)。

マイクロチャネルは、パーソナルコンピュータ史上で最も真価を認められなかった技術革新であるといえるかもしれない。そうなったのも、マイクロチャネルの登場があまりにも思いがけないものであり、また、多くの点で望まれていたものではなかったからである。PS/2が誕生する前に、パーソナルコンピュータ業界が求めていたのは、PCバスを土台としたそれまでの規格の延長線上にある、32ビット拡張機器の標準規格であった。ユーザーもメーカーも、PCバスの仕様に沿ったハードウェアに多大な投資を行っており、PCバス規格を諦めなければならないということになれば、その投資はきわめて高いものになってしまう。PCバス準拠のパーソナルコンピュータや拡張カードの製造に、多額の資金をつぎ込んでいた多くの人は、すんなりと新しい標準を受け入れることはできなかったのである。

しかし、それ以外のことに目を向ければ、PCバスの時代が終わっていたのは明らかであった。PCバスを使っていた80386マシンは、遅いバス速度のためにその性能がかなり制限されていた。Intelの25MHzスロットでさえ、適当な間に合わせにすぎず、インターフェイスの時代だというのに、その高速動作を制限してしまうという設計上の問題は解決されないのである。

過去を完全に断ち切れば、システムは自由になれる。おそらく、PCバスの生みの親であるIBMこそが、PCバスに代わる(少なくとも、そういう検討対象となる)標準規格を作ることができる世界で唯一の企業であった。

マイクロチャネルとその歴史を見ていると、性能の追求が必ずしも開発の動機ではないということがわかる。IBMによると、マイクロチャネルの開発は1983年頃にはすでに始まっていたという。これは、PCバスを拡張したATが世に出る以前のことであり、つまり、マイクロチャネルのヒントはATの中にあったとしても少しも不思議ではないことになる。

マイクロチャネル規格

IBMは、プロセッサの32ビットへの移行が本格化したのを機に、マイクロチャネルを発表した。だが、アップグレードを目指したわけではなく、単に拡張スロットを見直し、最先端技術に歩調を合わせた結果として、マイクロチャネルが生まれただけである。マイクロチャネルは、ハイエンドPS/2シリーズ(32ビットマシンと同様16ビットマシンにも)にパワフルな新しい能力を与えた。そ

の能力とは、PS／2シリーズをより高性能のメインフレームコンピュータに一歩近づけるような、いわばパーソナルコンピュータの仕組みを根本から変えてしまうようなものである。

とはいえ、すべてのPS／2マシンがマイクロチャネルを採用していたわけではない。最初のマイクロチャネルマシンは「モデル50」という機種で、以後それを発展させていくのだが、モデル50以前のPS／2マシンは、少し変更を加えたPCバスを使っていた。変更といっても物理的にひっくり返しただけで、電気的には何ら変わるところはない。

マイクロチャネルには、多くの素晴らしい仕様や技術が含まれており、これを簡単に説明したり、理解するのは難しい。その様々な仕様や技術を一言で表わそうとしたら、このマイクロチャネルという専門用語を使うよりほか仕方がない。マイクロチャネルは高性能なPS／2マシンにおいて、様々な回路要素や内部周辺機器をつなぐ、改めて定義された標準規格である。

マイクロチャネルアーキテクチャでは、PS／2に採用されているバスコネクタの大きさや物理的な配置、そして、このバスコネクタが運ぶ電気信号、システム全体がどのように動くかを決める論理機能が定義されている。

表6-4は、16ビットのマイクロチャネルのピン配列および、32ビットメモリ、ビデオメモリ、マッチドメモリの各拡張信号である。

表6-4　マイクロチャネルとその拡張

ピン	機能	ピン	機能
マイクロチャネル8ビット部			
A01	カードセットアップ	B01	オーディオグランド
A02	Made 24	B02	オーディオ
A03	グランド	B03	グランド
A04	アドレス11	B04	14.3MHzオシレータ
A05	アドレス10	B05	グランド
A06	アドレス09	B06	アドレス23
A07	+5V／DC	B07	アドレス22
A08	アドレス08	B08	アドレス21
A09	アドレス07	B09	グランド
A10	アドレス06	B10	アドレス20
A11	+5V／DC	B11	アドレス19
A12	アドレス05	B12	アドレス18
A13	アドレス04	B13	グランド
A14	アドレス03	B14	アドレス17
A15	+5V／DC	B15	アドレス16
A16	アドレス02	B16	アドレス15
A17	アドレス01	B17	グランド
A18	アドレス00	B18	アドレス14
A19	+12V／DC	B19	アドレス13
A20	アドレスデコードラッチ	B20	アドレス12
A21	プリエンプト	B21	グランド
A22	バースト	B22	割り込み09

ピン	機能	ピン	機能
A23	－12V／DC	B23	割り込み03
A24	アービトレーション00	B24	割り込み04
A25	アービトレーション01	B25	グランド
A26	アービトレーション02	B26	割り込み05
A27	－12V／DC	B27	割り込み06
A28	アービトレーション03	B28	割り込み07
A29	アービトレーション許可	B29	グランド
A30	ターミナルカウント	B30	予約
A31	＋5V／DC	B31	予約
A32	ステータスビット0	B32	チャネルチェック
A33	ステータスビット1	B33	グランド
A34	メモリ／入出力	B34	コマンド
A35	＋12V／DC	B35	チャネルレディリターン
A36	カードレディ	B36	カードセレクトフィードバック
A37	データライン00	B37	グランド
A38	データライン02	B38	データライン01
A39	＋5V／DC	B39	データライン03
A40	データライン05	B40	データライン04
A41	データライン06	B41	グランド
A42	データライン07	B42	チャネルリセット
A43	グランド	B43	予約
A44	データサイズ16リターン	B44	予約
A45	リフレッシュ	B45	グランド
A46	キー（未接続）	B46	キー（未接続）
マイクロチャネル16ビット拡張			
A47	キー（未接続）	B47	キー（未接続）
A48	＋5V／DC	B48	データライン08
A49	データライン10	B49	データライン08
A50	データライン11	B50	グランド
A51	データライン13	B51	データライン12
A52	＋12V／DC	B52	データライン14
A53	予約	B53	データライン15
A54	ステータスバイトハイイネーブル	B54	グランド
A55	カードデータサイズ16	B55	割り込み10
A56	＋5V／DC	B56	割り込み11
A57	割り込み14	B57	割り込み12
A58	割り込み15	B58	グランド

ピン	機能	ピン	機能
マイクロチャネル 32 ビット拡張			
A59	予約	B59	予約
A60	予約	B60	予約
A61	グランド	B61	予約
A62	予約	B62	予約
A63	予約	B63	グランド
A64	予約	B64	データライン 16
A65	+12V／DC	B65	データライン 17
A66	データライン 19	B66	データライン 18
A67	データライン 20	B67	グランド
A68	データライン 21	B68	データライン 22
A69	+5V／DC	B69	データライン 23
A70	データライン 24	B70	予約
A71	データライン 25	B71	グランド
A72	データライン 26	B72	データライン 27
A73	+5V／DC	B73	データライン 28
A74	データライン 30	B74	データライン 29
A75	データライン 31	B75	グランド
A76	予約	B76	バイトイネーブル 0
A77	+12V／DC	B77	バイトイネーブル 1
A78	バイトイネーブル 3	B78	バイトイネーブル 2
A79	データサイズ 32 リターン	B79	グランド
A80	カードデータサイズ 32	B80	トランスレート 32
A81	+12V／DC	B81	アドレス 24
A82	アドレス 26	B82	アドレス 25
A83	アドレス 27	B83	グランド
A84	アドレス 28	B84	アドレス 29
A85	+5V／DC	B85	アドレス 30
A86	予約	B86	アドレス 31
A87	予約	B87	グランド
A88	予約	B88	予約
A89	グランド	B89	予約

ピン	機能	ピン	機能
マイクロチャネル補助ビデオ拡張			
AV10	垂直同期	BV10	ESYNC
AV09	水平同期	BV09	グランド
AV08	ブランキング	BV08	ビデオデータ5
AV07	グランド	BV07	ビデオデータ4
AV06	ビデオデータ6	BV06	ビデオデータ3
AV05	ED クロック	BV05	グランド
AV04	ドットクロック	BV04	ビデオデータ2
マイクロチャネル32ビット拡張			
AV03	グランド	BV03	ビデオデータ1
AV02	ビデオデータ7	BV02	ビデオデータ0
AV01	E ビデオ	BV01	グランド
AV00	キー（未接続）	BV00	キー（未接続）
マイクロチャネル32ビットマッチドメモリ拡張			
AM04	予約	BM04	グランド
AM03	マッチドメモリサイクルコマンド	BM03	予約
AM02	グランド	BM02	マッチドメモリサイクル要求
AM01	マッチドメモリサイクル	BM01	予約

新しいコネクタ

PC バスと比べると、MCA には些細なようだが明らかに違う点がある。マイクロチャネルが、PC バスのものより小さなコネクタを採用したという、物理的な違いである。ところが、そのためだけに、PC バス規格に沿って作られた多くのハードウェアは、マイクロチャネルと互換性を保つことができなかった。

このコネクタの選択は、必ずしも正しかったとはいえない。IBM はこの一撃でサードパーティの周辺機器を、時代の後方へ追いやってしまったのである。IBM は、マイクロチャネルの設計が他社より一歩進んだものであり、PS／2 の価値を高めるものであることに満足していた。

もし、拡張機器の開発、製造メーカーが、PC 対応の拡張機器に何億という巨額の資金をつぎ込んでいなければ、小型コネクタ採用の利点にも目がいっただろう。利点の1つは、小さなスペースにより多くの機能を詰め込んだ小型マイクロチップなどの**表面実装部品**を使用した拡張ボードの設計が容易になるということだ。マイクロチャネルのコネクタのピン間隔（0.050 インチ）は、この表面実装回路部品のピン間隔に対応しているので、設計者や製図機の仕事はだいぶ楽になる。反対に欠点をあげるとすれば、回路ボードへのハンダ付けに特殊な機械が必要なため、小規模な工場で製造している業者には作るのが難しくなってしまったことである。

小型化

IBM はコネクタ、表面実装部品に続いて、拡張ボードの小型化も行った。AT 用ボードが 4.75×13.5 インチだったのに対し、マイクロチャネル用は 3.5×11.5 インチである（図6−1参照）。ある意味では、表面実装部品がボードを小さくしたともいえる。必要な電力が減ったために放出される熱も減り、その結果、小さくしても問題なくなったからである。パーソナルコンピュータを使うだけで、設計や組み立ての必要がないユーザーにとっては、このような小型化は朗報であろう。

パーソナルコンピュータや周辺機器を立体的に積めば、その分だけ机上に余裕ができるからだ。

当初は、ほかのマシンも小型化される予定だったが、残念なことになかなか達成されなかった。新しいバスが導入された最初の年にIBMが発表したマイクロチャネル対応マシンのうち、モデル50だけがその特性を生かして小型化されただけだった。同じ初期のマシンでも「モデル60」、「モデル80」は、実際にはPCよりも大きいという状態であった。

ボードの小型化は、メーカーにもコストが抑えられるというメリットがあるが、それは最初の開発を終えた後の話である。ボード本体の部材であるエポキシ樹脂はそれだけ少なくてすむが、部品や開発費や人件費に比べれば微々たるものである。

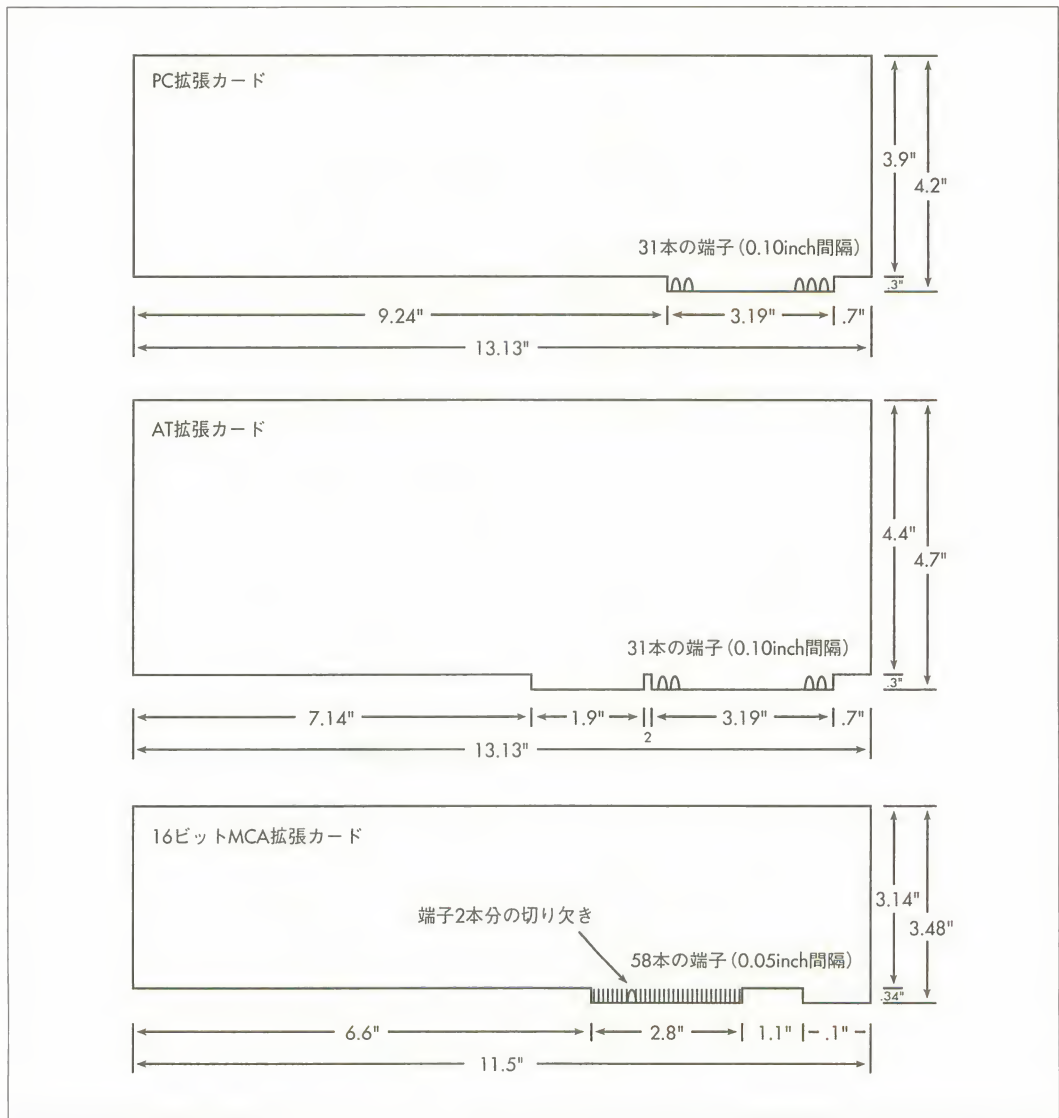



図6-1　拡張カードの寸法の比較

電波干渉の減少

電波干渉の点から見れば、マイクロチャネルはPCバスと比べて飛躍的に進歩した。信号の配列をまったく変え、4ピンごとにグランドを設けたためである。このようにグランドがたくさんあり、それらが高周波デジタル信号に近接されていることにより、PCやATより電波干渉を減らすことに成功したのである。これでFCC（連邦通信委員会）の認可を取り付けるのも以前より簡単になり、設計担当者を夜通し悩ませることもなくなった。

高速化

信号の配列が改善されたことにより、拡張ボードの動作も速くなった。つまり、バスの帯域幅が広がったために、周波数とデータ転送速度が上がったのである。マイクロチャネルは、最初のモデルですでに8MHzの壁を破り、最高10MHzを達成していた。20MHzの「モデル80－111」でも拡張バスは10MHzで動作している。もちろん、マイクロチャネルの設計は10MHzが絶対的な限界ではなく、今後さらに高速なシステムが生まれるのは明らかである。

信号の改良

信号の配列やコネクタが変わったということは、マイクロチャネルの革新の中の、ほんの一部分にすぎない。この新しいバスはデータライン、アドレスラインの本数が増え、オーディオ、ビデオ情報用のチャネルができるなど、これまで思いもよらなかった新機能が加わっている。

データラインの増加

マイクロチャネルはデータラインを16本増やした。これこそマイクロチャネルで最も期待されていた革新である。その結果、データパスの幅が32ビットになり、メモリや入出力装置などバスに接続された周辺機器に、ほかの条件が同じならばそれまでの2倍の速度でアクセスできるようになった。マイクロチャネルは32ビットデータバスに対してIBMだけが認めた標準規格である。

アドレスラインの増加

増えたのはデータラインだけではない。アドレスラインも24本から32本となり、アドレスバスは8ビット増えた。その結果、サードパーティの80386AT互換機を抜き去り、アドレス可能な最大メモリ領域は、ATバスの16Mバイトから4Gバイト（1Gバイト＝約10億バイト）へと飛躍的に拡大した。

サウンド面の改良

16ビット、32ビットどちらのマイクロチャネルでも、IBMのバス構造では中程度の忠実度のアナログオーディオ信号（たとえば合成された声や音楽）が、1つのチャネルに統合されている。周波数の幅は最高約10KHz（技術的には50Hzから10KHz±3dbが可能）と、多少のノイズはあるかもしれないが、FMラジオ並みのすぐれた音質が期待できる設計である。

オーディオ信号はマイクロチャネルでは唯一のアナログ信号である。マイクロチャネル仕様では、アナログ信号の最高値2500mVに対して、50mVのレベルまでのアナログノイズを許容している。信号に紛れ込む可能性のあるノイズの比率は、約32dbである。

このオーディオチャネルは、拡張機能としてバスに設けられているため、このチャネル上の拡張カードは、オーディオ信号の送受信や処理を独立して行うことができる。

ビデオの拡張

マイクロチャネルのビデオ機能の拡張は、通常PS／2マシンだけにあるスロットの、小さな補助コネクタで行われる。拡張カードはこのコネクタを使って、PS／2に装備されているビデオグラフィックアレイ（VGA）回路にアクセスすることができる。VGAの速度を上げたければ、ビデオコプロセッサカードを装着することもできるが、その場合は、本体シャシーのビデオコネクタを通してモニタに接続することになる。拡張カードとVGAは、アナログ信号でビデオ情報をやりとりするが、実は、バス内でデジタル信号のビデオ情報をやりとりするよりも、そのほうが速いからである。

ビデオ拡張では、重要な信号を使用する。水平垂直同期信号とESYNC信号(Enable Sync.)という特殊な制御ラインである。このラインによって、ビデオシステムで使われる同期信号を出力するのが、プレーナーボードなのかマイクロチャネルに接続されたアダプタなのかが示される。ESYNCは、通常論理的にハイに保たれており、ローにすればシステムはマイクロチャネルのアダプタの同期信号を使用できるようになる。

ビデオデータは、8本の**ビデオデータライン**を使って、マイクロチャネルのビデオ拡張部を転送される。このデータがシステムボードのVGAのD／A変換器を動作させる。

また、マイクロチャネルには、2本のクロック信号と特殊な**ブランキング**信号もある。後者はVGAのD／A変換器の出力をやめさせて画面をブランクにする。この信号がハイだと画面が表示され、ローだと消灯される。

バスアービトレーション

マイクロチャネルの設計がPCバスと大きく変わった点は、ハードウェアを介したバスアービトレーション(調停)機能が加わったことである。これによってPS／2は、ミニコンピュータ並みの性能を備えることになった。PCバスは、1個のマイクロプロセッサからの要求を、一度に1つずつしか扱えなかったが、マイクロチャネルを採用したPS／2では、複数のマイクロプロセッサと周辺装置が整然とバスを共有できる。これにより、マルチタスクのみならず並行処理をも可能にしたのである。

その鍵は、ハードウェアのアービトレーションにある。ATもバスの共有はできたが、そのためには、システムを制御する特殊なソフトウェアを必要とした。優先権のアービトレーションは、すべてプログラムに頼っていたにもかかわらず、その手法は、プログラマに対してはほとんど公開されていなかった。マイクロチャネルで初めてハードウェアによるアービトレーションが実現したが、もとはといえばこの発想は、メインフレームコンピュータのものだった。IBMはこの分野では専門的な技術を持っているのである。

現在のPS／2では、ハードウェアのバスアービトレーションは、最大8個のマイクロプロセッサと、8つのデバイス(DMAコントローラなど)に対して行うことができる。これらすべてで1つのバスを共有できるのである。その際、互いに干渉し合うこともなければ、システム制御用のプログラムも必要ない。通信機能をより高めるコプロセッサや、解像度の高いグラフィックサブシステムも、まず安心してPS／2に増設することができる。そしてこのとき、プログラマがコードのタイミングに気を配る必要もない。

このハードウェアによるアービトレーションが加わったことで、過去のバスとの互換性は保てなくなった。システムを正常に動作させるためには、すべての拡張カードは(つまり、バスアービトレーションを利用しない拡張カードも含めて)、その回路を組み込まなければならない。たとえバスが改良されなくても、拡張カードはその必要がある。それだけで、拡張カードの回路を完全に設計しなおす必要が出てくる。しかし、カードを再設計すれば、それ以外のマイクロチャネルの機能も同時に使えるようになるという利点もある。

新しい設定手順

このコンセプトの変更はまた、マイクロチャネルの**プログラマブルオプション選択(POS)**機能にも見られた。これはインストールやシステムの機能拡張が、以前のパーソナルコンピュータよりさらに簡単に、しかも確実に行えるように設計されたものである。したがってPOSでは、システムの設定を、悪魔払いの儀式のような不可解なものにしていた、DIPスイッチやジャンパスイッチ、ヘッダなどは必要ない。

バッテリでバックアップされた消費電力の少ないCMOSメモリを使って、ATではディスクドライブのタイプとメモリの配分を記憶しているが、同様にPS／2では、ここにハードウェア構成を記憶している。たとえば、どのボードがどの拡張スロットに装着されているかといったことや、ボードがほかのシステムの部分とどのような関係にあるのかというようなことが、ここに記憶されるわけである。

マイクロチャネル用に設計された拡張ボードには、コード化された専用の識別番号がファームウェアに組み込まれている。システムが立ち上がると、PS／2はまずCMOSメモリに記憶されているインストール済みのオプションと、ディスクドライブに記録されているファイルを比較し、変更点を見つけ出してセットアップが万全であるかどうかを確認する。また識別番号は、オプションの使用やインストールの有無を記憶した、マイクロチャネル用ボードのデータファイルをリンクするのにも使用される。セットアップファイルは、自動的に、システムの**リファレンスディスク**内のセットアップ用ソフトの中に組み込まれる。このようにして、一連のインストール手順が行われるわけである。この簡単でなじみやすいインストール手順は、どんな拡張ボードも管理することができる。

さらにPS／2では、ATや80386マシンを含むほとんどの互換機にあった、デフォルトのモニタのタイプを選択するスイッチが姿を消している。これは、モニタケーブルの信号がVGAアダプタを自動的にモノクロ、カラーのどちらかのディスプレイに合わせてくれるため、VGAシステムでは必要なくなったからである。

レベルセンス割り込み

マイクロチャネルでは、PCバス時代からの馴染み深い信号もかなり変更された。たとえば、PCバスではエッジトリガだった割り込み信号が、マイクロチャネルではレベルセンスに変わっている。以前のPCの技術に従ったシステムでは、割り込み要求が状態を変えた瞬間にしか割り込みは感知できないが、マイクロチャネルの設計では、割り込みがかかっている間なら、つねに割り込み信号がアクティブになっている。

割り込みを共有するコンピュータでは、エッジトリガ割り込みよりレベルセンス割り込みのほうが利点は多い。なぜなら、コンピュータは、割り込みがアクティブであるかどうかを判断するために、レベルセンス割り込みラインを確認するからである。その際もちろん、エッジトリガラインの存在も忘れてはならないが、レベルセンス割り込みによって拡張ボードの論理共用回路はシンプルになる。そのため、割り込みコントローラのノイズや過渡特性による誤信号を検出しないようにできる。また、同じ割り込みレベルを共有するハードウェアとしないものを、混在させることもできる。

新しい信号

マイクロチャネルバスでは、新しく搭載されたハードウェアアービトレーション機能に使用される信号のほかにも、いくつかの新しい信号が定義されている。たとえば、**カード選択フィードバック**信号は、拡張カードがしかるべきアドレスにあることをホストに知らせるための信号で、基本的にはセットアップ時に、どんなオプションがインストールされているのかをシステムが確認するための、診断用として使用される。

マイクロチャネルの**チャネルレディ**ラインと、PCバスのI／Oチャネルレディラインは実質的には異なるものである。マイクロチャネルのチャネルレディラインは、バスに接続されたデバイスが、最大3.5マイクロ秒の範囲内で、動作完了時間の延長を要求するための信号を出力するのに使われる。各コネクタは、それぞれ専用の信号を持っているため、別のコネクタからの信号と混同されることはない。コネクタからの信号は、すべて論理的にORされており、そのすべてが時間延長を要求していない場合は**チャネルレディリターン**という別の信号が生成されるので、バスの状態の監視が簡単にできるようになる。

また、マイクロチャネルのコネクタは、それぞれ専用の**カードセットアップ**ラインも備えている。セットアップとエラー処理時に使用されるこのラインは、アクティブにすると、そのコネクタに接続されている拡張ボードのコンフィギュレーションデータ領域が読めるようになる。

PCバスは、メモリと入出力操作に別々のラインを使っていたが、マイクロチャネルでは、**メモリ／入出力**、**ステータスビット1**、**ステータスビット2**の3つの信号を組み合わせて使用して、実行されるバスサイクルのタイプを定義している。

マイクロチャネルの**チャネルチェックライン**は、PCバスのI／Oチャネルチェックライン同様、パリティエラーのような重大なエラーの発生を知ら

せるのに使われる。

マイクロチャネルには、コネクタに装着された各カードのバス幅を知らせる専用の信号もある。バスに接続されたデバイスから送られる**カードデータサイズ16**信号は、拡張カードに対して、16ビット幅の情報がやりとりできることを知らせるもので、これに対して拡張カード側は、**データサイズ16リターン**信号を返して16ビットのデータが扱えることを確認する。同じように、**カードデータサイズ32**信号と**データサイズ32リターン**信号は、80386搭載のPS/2マシン（モデル70、80など）で使用され、32ビットの動作が可能であることを通知、確認するものである。

バイトイネーブルビット0〜3の各信号は、バス内で行われているデータ転送がどのタイプであるのかを識別するのに使用される。この信号のおかげで、マイクロチャネル用のアダプタは、8ビット、16ビット、24ビット、32ビットのいずれのデータでも、同時にかつ確実に転送することができる。また、これによってマイクロチャネルのアダプタは、8ビット、16ビット、32ビットいずれの拡張機器でも、1台のコンピュータの中で組み合わせて使用することが可能である。

メモリアドレスイネーブル24信号がアクティブになっていなければ、マイクロプロセッサやバス上のほかの装置が、80286の24ビットではなく、80386の拡張された32ビットのアドレス指定領域を使用しているということである。

マッチドメモリサイクル

マイクロチャネルでは、バス幅が32ビットと広くなり、クロックスピードが高速化されたのに加え、32ビットバージョンのシステムでは、新しいデータ転送モードが使えるようになっている。**マッチドメモリ**と呼ばれるこのモードによって、マイクロチャネルには、プレーナーボードと拡張ボード間の、データ転送のパルス幅の短縮が可能になったのである。このモードで使われる信号は、変わった方法で32ビット拡張を実現している。それは、デバイス間を移動するデータが、さらに速い速度で同期できることを、80386プロセッサに知らせるというものである。メモリや、16ビットまたは32ビットの内部周辺機器がこのような高速な値で動作できる場合、マイクロチャネルのマッチドメモリモードを使って、データ転送速度を最高25%（1サイクル＝250ナノ秒から187ナノ秒へ）高速化することが可能である。

マッチドメモリを装備するために、マイクロチャネルでは8つの信号が追加されている。このうち3つは将来使用するために、2つは接地用に予約されている。ホストがマッチドメモリ転送が行える状態にある場合、**マッチドメモリサイクル**信号がアクティブになる。また、バスに接続されたデバイスが、16ビットまたは32ビットのデータをマッチドメモリモードで高速転送したい場合、**マッチドメモリサイクルリクエスト**ラインをアクティブにしてその要求を伝える。3つ目の信号の**マッチドメモリコマンド**信号は、マッチドメモリサイクルの最中であることを示すものである。

バーストモード

最初のPCの設計では、拡張バスを移動するデータのフローは、〝フロー〟という言葉が示すようなスムーズなものではなかった。データ転送の際には送信と停止を繰り返してデータを移動させなければならず、そこにはつねにオーバーヘッドがつきまとっていた。データ転送は、1バイトを移動させるたびに、アドレスの準備をして実際にデータを送るという2つのステップを踏まなければならず、このスタートとストップの繰り返しがデータフローの足かせとなっていたのである。これではまるで、停留所があるたびに停止して客を乗り降りさせなければならない、各駅停車の路線バスのようなもので、その遅々とした走りは永遠に終点に着かないのではと思わせるほどである。従来の設計では、プロセッサが、このようなデータの渋滞状態を招く要因になる。プロセッサのみが、データを連続したブロックの形で送ることができるからである。

マイクロチャネルのアーキテクチャでは、デバイスがデータを一気に、あるいは大きなブロックに分けて送れるようになったことで、この問題が克服されている。これがいわゆる**バーストモード**で、マイクロプロセッサによる2段階のデータ転

送ではなく、入出力装置相互間で、一気にデータブロックをやりとりするのである。バーストモードではマイクロプロセッサの介入がないため、毎秒19万バイト（毎秒約152万ビット）という高速なデータ転送が可能である。また、マイクロチャネルでは、マイクロプロセッサでデータ転送が停滞することのないように、I／Oバスとメモリの間に、ブロックデータ専用の高速なパスが8本追加されている。

バーストモードも、オーバーヘッドがまったくないわけではないが、それでも、PCやATのブロック転送に比べればかなり少ない。バーストモードでは、まずシステムが最初の1バイトをどこへ送るのかを指定してセットアップを行ない、続いてデータブロックが1バイトずつ次々と転送される。これは各駅停車でもなく急行でもなく、専用のチャーター便で旅をするようなもので、ある地点から目的地まで、観光客のグループはまとめて直接に運ばれるのである。

マイクロチャネルは転送の始めと終わりを示すのに、ソフトウェア信号ではなくハードウェア、つまり拡張バスにある特殊な信号を使用する。バーストモードの操作は、マイクロプロセッサの助けを借りず、マイクロチャネルの回路が制御する。したがって、マイクロプロセッサが別の動作（それ以前にバスを移動したデータの処理など）をしている間でも、バーストモード転送は可能である。

ストリーミングデータモード

最初の構想のとおり、マイクロチャネルは、ほとんどの目的や周辺機器には、現在でも十分高速に対応できる。実際には、拡張機器のほとんどは、古いISA接続でも十分である。しかし、技術開発競争により、最初は速かったものでも瞬く間に遅いものになってしまう。IBMは、マイクロチャネル発表からおよそ2年後には、さらに高速なバス転送が要求される時代が来るだろうと予想し、より高速なデータ転送プロトコルである**ストリーミングデータモード**で、マイクロチャネルの性能をさらに向上させた。

ストリーミングデータモードは、バスマスタとバススレーブ間のデータ転送を高速化するように設計されたオプションである。したがって、すべてのコンピュータや周辺機器がこれを使う必要はない。このモードに対応しているシステムやデバイスは、最高8倍までの高速なデータ転送が可能になる。一方、これに対応していないシステムでも、互換性の問題に悩まされることはない。高速モードでのデータ転送を要求されても、通常の転送方法でその要求に応えればよいからである。つまり、マイクロチャネル仕様では、システムや周辺機器は、可能な限りの高速動作を実現することもできるし、反対に高速転送を望まない場合でも、互換性の問題にぶつかることはない。実際、ストリーミングデータプロトコルによって可能な限り性能を上げようとした場合でも、システムの物理的な構造や、コネクタのインターフェイスの機構や電気的な定義を調整したり、現行のプロトコルを改めて定義し直す必要はない。

ストリーミングデータモードの目的は高速化であり、システムのタイミングや信号の定義を変えずに、システムのデフォルトのデータ転送速度を2倍から4倍にすることができる。システムにストリーミングデータモードがサポートされていれば、大いなる高速化が実現できる。たとえば、マイクロチャネルにはデータを二重化するテクニックがあるが、それによってデータバスの幅を32ビットから64ビットにすれば、さらに高速にストリーミングデータ転送を行うことができる。また、システムのタイミングを変えることで転送速度はさらに2倍になる。最終的には、現在のストリーミングデータプロトコルで、バスのデータ転送速度を16倍にまで高速化することが可能である。

このような進んだストリーミングデータモードも、最初はマイクロチャネルのデータ転送サイクルの標準（デフォルト）で始まる。つまり、拡張バスで1ワードを転送するために、マイクロチャネルは（ほかのバス同様）転送前にアドレスを指定しなければならず、たとえ高速なバーストモードといえども同様で、1ワード転送するたびに、アドレスのセットアップに1サイクル、データ転送に1サイクルの、計2サイクルが必要になる。

マイクロチャネル仕様では、この2段階の動作に200ナノ秒を要する。これはバスクロック10MHz

のマイクロチャネルの2サイクル分である。この速度だと、100万分の1秒に5ワード、つまり1秒に500万ワードを送れることになる。32ビットなら1ワードが4バイトなので、最も効率のよいデータ転送速度は毎秒20Mバイトとなる。

この数字は、マイクロチャネルの最も基本的なレベルで実現可能なスループットの値である。つまり、デフォルト値のデータ転送サイクルの"瞬間転送速度"ということだ。これは、マイクロチャネルが指定のアドレスからアドレスへとデータを動かすことのできる最高速度で、マイクロチャネルマシンが、バス上でランダムにデータを転送する場合(マッチドメモリモードなどの、ほかの機能拡張がない状態)の最高速度である。システムにはオーバーヘッドがあるため、通常の転送モードでは、実転送速度でこれほどの数値を挙げることはできない。バーストモードが毎秒1,900万バイトの速度に留まっているのもこのためである。

しかし、標準のデータ転送にも1つの強みがある。ランダム転送ができることである。転送するたびにそれぞれのデータにアドレスを指定するため、データの始点をランダムに選び、目的地もランダムに選んでデータを転送することができるのだ。ところが、拡張バスのデータ転送では、複数バイトまたは複数ワード単位のランダムなデータ転送が順次行われる場合が多い。普通は、1ブロックのデータが一度に送られる。1ワードが送られた直後に次のワードが送られるわけだ。このような場合、各バイトのアドレス指定は重複していることになる。つまり、1,000ワードをまとめて送る場合、データの最初のアドレスがわかれば、後に続く各ワードの行き先も分かる。転送に先立って与えられるアドレスは、最初の転送が完了してしまえば後は必要ない。その次の転送では、すべてのワードやバイトの行き先は分かっているのだ。最初のワードの転送が終了すれば、後続のワードの転送で必要になるのは、送り先のアドレスのカウントを続けることだけである。

1ワード送るごとに(少なくとも最初のワード以降は)1サイクルを費やしてアドレスを要求する必要がなくなったことに、マイクロチャネルのバーストモードの大きな意味がある。ストリーミングデータプロトコルでは、ワード単位で順次送られるデータのブロックについて、1サイクル、つまりアドレス指定のためのサイクルが必要ない。1ワードの転送で1サイクル減ったということは、転送時間が半分になったということであり、最初の1ワードを転送した後の転送速度は、200ナノ秒から100ナノ秒に半減する。したがって、ストリーミングデータモードでは、データブロックの転送を2倍の効率で転送することができ、理論的な最高速度は毎秒40Mバイトとなる。転送するワードを長く連続させればさせるほど、転送するデータブロックごとのセットアップに要するオーバーヘッドが少なくなるため、全体的な転送速度は増し、最高速度へ近づいていく。

ストリーミングデータモードとバーストモードは、バスの転送速度を上げるという同じ目的を持ってはいるが、両者はそのメカニズムも達成可能な速度も転送時間も違う。バーストモードは、ランダムなデータの、比較的小さいブロックを扱うように設計されている。一方、ストリーミングデータモードは、機能的にさらに拡張された逐次転送を行うことができる。バーストモードでは毎秒20Mバイトのデータ転送速度が最高であるが、ストリーミングデータモードでは、すでに定義されている転送速度の最高8倍の高速化を望むことができ、さらに高速化できる可能性も持っている。このようなストリーミングデータモードでの高速化は、データの多重化とサイクル時間の短縮によって実現できる。

データの多重化

IBMは、"マイクロチャネル2"として公表した次世代規格の中で、**データ多重化**というオプション機能を加えた。これは、普通の32ビットバスで64ビット転送をサポートできるというもので、本来は、必要のない余分なバス信号を削除するという点から生まれた発想である。マイクロチャネル仕様では、32本のバスラインがデータを運び、別の32本がアドレス情報を指定する。ストリーミングデータプロトコルの場合、データストリーム転送が行われている間は、後者のアドレスラインはほとんどすることがない。アドレスラインがアク

ティブになるのは、転送の流れが開始される最初の1サイクルだけで、その後アドレスラインは、転送が行われている間、休止したままである。

マイクロチャネルの高速化を握る鍵は、いかに効率よくシステム資源を動かすかということにある。休止している32本のアドレスラインは、その機会を無駄にしている最たるものといえる。しかし、これを一時的に追加のデータラインとして定義しなおせば、データバスの幅を2倍にすることが可能になる。これによってデータ転送速度を2倍にし、最高で毎秒80Mバイトという速度が実現するわけである。

1本のワイヤで1チャネル分以上の情報を運ぶテクニックは**多重化**(multiplexing)と呼ばれる。ここから、このモードは**多重化ストリーミングデータモード**(multiplexed streaming data mode)と呼ばれている。

バスのスループットを効率よくするために決められた速度は、ある1つの条件に基づいている。それは、マイクロチャネルが10MHzのクロックスピードを採用しているため、バスサイクル時間も10MHzであるということである。これはマイクロチャネルのデフォルト値であるが、しかし、必ずしもこの速度にしなければならないという決まりはない。事実、マイクロチャネル仕様ではこの半分の50ナノ秒での動作も可能である。バスサイクルをこのタイミングで動作させれば、ストリーミングデータモードは毎秒160Mバイトに近いスループットも実現できる。

現在、最も速いハードディスクの転送速度は毎秒15Mバイトであり、最も速いネットワークのバースト速度が毎秒14Mバイトであることを考えると、前述のような速度の規定はまったく必要性のないものに見えるかもしれない。しかし、複数のバスマスタが同時に、あるいはほぼ同時に転送を要求してくるような場合、バスの帯域幅は極限まで要求される。

また、このように究極的な高速転送が可能になれば、マイクロチャネル上に実装したメモリも、今日最高速のキャッシュメモリの要求に応えるのに十分な速さを備えることができる(33MHzで動作する32ビットマイクロプロセッサは、毎秒128Mバイトの速度でデータを要求する。これでも、マイクロチャネルの毎秒160Mバイトの範囲に十分収まる)。

バスマスタの動作

マイクロチャネル規格の〝バスマスタ〟や〝アービトレーション〟という言葉には、何か近づき難い響きがあるかもしれないが、その動作は、実に単純な概念で説明することができる。これは、バスを共用しているデバイスに、データバスの使用権が巡ってきたこと伝える、いくつかの〝信号機〟(セマフォア)として働くものだ。これは、ホストコンピュータ内の、最大16個の異なるデバイスが、情報を伝える〝高速道路〟をうまく共有できるように、効率的な制御を提供する。IBMによると、マイクロチャネルも〝インターステート(米国の州間高速道路)〟のように、安全な範囲内なら可能な限りの速度で、どの方向にも行ける複数のレーン(車線)を備えているという。車線の数を増やせば、より多くの交通をさばくことができ、システム内のデータフロー速度も上げることができる。

これはなかなかうまいたとえであるが、マイクロチャネルがどういう働きをするのか実際に説明するとなると誤りである。マイクロチャネルは最大32ビットのデータ以外には、高速なデータ転送用には2つのパラレルパスしかない。1本は補助オーディオ信号用、もう1本はアナログビデオ情報用である。

もっと適切なたとえで説明するなら、マイクロチャネルをマンハッタン通りにたとえるのがいいだろう。1本の中央線が引かれ、いくつか信号の付いているこの道路は、無謀運転のタクシーや歩行者であふれており、流れが詰まってしまいそうな状態である。

マイクロチャネルはさしずめ、健気な交通警察官といったところだ。道路の渋滞を解消するべく、度胸と根性と強い意志でもってこれに立ち向かう。白い手袋以外は大した武装もせず、タクシーやヒッチハイカーを安全に導き、交通がうまく流れるように奮闘する警官。同じように、マイクロチャネルのハードウェアバスアービトレーションも、バスの使用権が回ってきたプロセッサに命令を出し、

何事も滞りのないように努める。そのため、データの処理は可能な限り秩序とマナーを保ちながら流れるように進む。マイクロチャネルも警官のように、代わりのデータパスを提供したり待ち時間を減らすために、ハイウェイの交通を整理し、すべてが秩序よく運ぶように制御し、衝突や事故を防いでいるのである。

マイクロチャネルのバスアービトレーションは、PS／2のデータバスにアクセスする各デバイスが使用する信号の階層化によって、上記の目的を達成している。また、2つ以上のデバイスがバスの使用権を求めている場合には、アービトレーション機構は、重複する要求を解消する手段にもなる。ハードウェアアービトレーションは、2つ以上のデバイスが、マイクロチャネルの制御を同時に占有しようとしたときにおこる混乱を防ぐ働きをするのである。

追加された信号線

このアービトレーション機能のために、マイクロチャネルにはPCバスにはなかった信号線が何本か加えられている。そのうちの4本は**アービトレーションバス優先レベル**で、0〜3番までの番号が与えられている。これらの信号線は、マイクロチャネルを制御しようとする各デバイスに割り当てられた優先度を、コード化した信号で送信するのに使用される。優先度のレベルは16段階ある。

また、PS／2のシステムボード上には、マイクロチャネルには現われないさらに2つの優先度のレベルが設定されている。この特殊なレベルは、メモリリフレッシュ（データの内容を保持するための機能）と、マスク不能割り込み（一般にパリティチェックエラー信号として知られる）に最優先権を与えるのに使用される。

バスアービトレーションのために、さらに3つの信号が追加されている。1つは**プリエンプト**（Preempt）信号と呼ばれるもので、拡張カードがマイクロチャネルへのアクセス要求を伝えるために使用する。もう1つは**アービトレーション／許可**信号で、バスへのアクセスの調整を始めるために、マイクロチャネルの**中央アービトレーション制御点**（バスの使用権を制御している部分）から送られてくる。残るは**バースト**信号で、これはデバイスが一連のデータブロックを転送している間は、デバイスに制御を維持させ、転送が終了するまでアービトレーションを受けなくてすむようにするためのものである。つまり、ブロックデータ転送の〝Do Not Disturb（起こさないで！）〟サインともいえる。

アービトレーションのプロセス

1つ以上のデバイスがマイクロチャネルの制御権を要求しようとして、中央アービトレーション制御点にそのメッセージを送ると、アービトレーションが開始される。データバスにポーズがかけられ、アービトレータがマイクロチャネルに接続されたデバイスのすべてに「これから制御権の要求を受け付ける」という意味の信号を送る。

次に、バスへのアクセスを要求するマイクロチャネルのデバイスは、4本のアービトレーションバス優先レベルラインに、割り当てられている優先レベルを送り出す。各拡張カードはその信号をチェックし、より優先レベルが高いものの存在を見つけた場合には、制御の獲得をあきらめる。マイクロチャネルは、同じ優先レベルを複数のデバイスに割り当てることのないように設計されているため、同じ優先レベルがぶつかるということはあり得ない。

この優先レベルは、マイクロチャネル用の各ボードに対する設定処理の際に割り当てられ、ディスク上のアダプタ記述ファイルに記憶される。アダプタ記述ファイルは、POS（前述）の実行の結果として、各マイクロチャネルデバイスの構成を記録したものである。

ハードウェアによるバスアービトレーションは、代替テクニックであるソフトウェアによる制御を上回る多くの利点を持つ。しかし、従来のPCアーキテクチャの場合は、このようなソフトウェアアービトレーションは、すべてのソフトウェアの命令を扱うホストマイクロプロセッサに制御させなければならない。このような、マイクロプロセッサを介したプロセスには、マイクロプロセッサが各デバイスからのすべての要求を監視し、どこに制御権を与えるかを決めるといった、ソフトウェアのオーバーヘッドが含まれる。マイクロプロセッサ

が、このような繁雑な仕事を監督するために、通常の任務から離れなければならないと、その影響はシステムの性能に現われることになる。さらに、マイクロプロセッサは、つねにバスを監視しなければならないため、つねに拘束されてしまう。システムメモリを介して、ほかのデバイスとやり取りしなければならないときは、マイクロプロセッサは自分の処理に没頭しているわけにはいかない。

マイクロチャネルの場合は、バスとマイクロプロセッサの接続を断つ。拡張カードというハードウェアの中に、バスアービトレーションの機能はすべて組み込まれているため、ソフトウェアは必要ないわけだ。結局はこのほうが高速ですっきりとしたシステムになる。

バスマスタの例

マイクロチャネルのハードウェアバスアービトレーションの利点が生きてくるのは、恐らく今ではあまり重要ではないアプリケーションである、コプロセッサカードである。これは、かつてコンピュータの性能を向上させるために用いられていた、ターボボードのようなものである。

従来のPCバスのシステムでは、ビデオ信号(あるいはI/O信号)を扱うことは、ターボボードコプロセッサにとっては複雑で、ソフトウェアに頼らざるを得ない仕事になる。複雑になってしまってさらに頭が痛いのは、ディスプレイの扱いである。プログラムの多くは、データをビデオメモリに書き込むことで直接画面に出力するのだが、プログラムがコプロセッサボード上で動くときは、ホストのビデオRAMではなくボードのメモリにデータを書き込むため、ディスプレイ上には何も現れてこない。コプロセッサは、自分のアドレス領域内でビデオメモリをシミュレートし、そこに書かれたデータを受け取って通常のホストのビデオメモリへと転送しなければならない。

この二度にわたる書き込み操作や転送のプロセスは、どんなに巧みに処理しても(実際、ここ数年来ターボボードは、ビデオの処理をはかりしれないほど改良しているのだが)、2つの別個のメモリシステムを使用することについて回る重いオーバーヘッドのために、実質的にビデオの更新は時間がかかる。

ところが、マイクロチャネルにとって、このような操作は実に簡単である。コプロセッサボードは、単に通常のホストのビデオメモリを、自分のアドレス領域にマップするだけである。プログラムが直接ビデオメモリに書き込む場合、コプロセッサボードはマイクロチャネルを制御し、ディスプレイ情報がどこに属するべきかを正確に定めるだけでいい。このときのオーバーヘッドはわずかなもので、存分に性能が発揮できるというわけである。

コプロセッサの中には、高価なデュアルポートメモリを使ってホストとやりとりするものがある。コプロセッサがメモリの1つのポートに書き込みを行い、ホストはもう1つのポートからデータを引き出す。マイクロチャネルでは、メモリのどこの場所にあるデータでも直接的に共用することができ、通常のRAMチップでもこの目的に利用できる。

マイクロチャネルが持つ可能性として、最も興味深いものの1つは、並行処理である。この場合、マイクロプロセッサを複数にすることで、難問も小さく分けて一度に解決することができる。たとえば、モデル80のマシン1台に8個の80386マイクロプロセッサを搭載して、相応の性能を実現すれば、それは「VAXクラスタ*1」にも匹敵するかもしれない(80386と80387を1個ずつ組み合わせるだけでも、「VAX 8600」ほどの強大な処理能力を発揮する)。

もちろん、この並行処理には、まったく新しいソフトウェアが必要となるだろう。現在のところは、まだ実現していない技術だが、メインフレームコンピュータ処理のボトルネックを打ち破る、大きな可能性を秘めていることは間違いない。マイクロチャネルはその可能性を、デスクトップコンピュータで実現しようとしているのである。

*1　訳注：DECのミニコンピュータ「VAX」を、複数台接続して並行処理をさせる形態のこと。

サブシステムコントロールブロックアーキテクチャ

バスマスタは、効果的ではあっても、単独では役に立たない概念である。コンピュータに、ソフトウェアやオペレーティングシステムを通して、この新しい機能を制御する手段がなければ、新しいハードウェア設計の可能性をフルに生かすことはできない。つまり、新しいハードウェアとパーソナルシステムのプログラムを結びつける手段が必要なのである。

この役割を果たすのが**サブシステムコントロールブロックアーキテクチャ**である。マイクロチャネルと同じ〝アーキテクチャ〟という言葉で表わされるが、サブシステムコントロールブロックアーキテクチャはソフトウェアであり、規則の集合体であり、基本原理である。その基本的な目的は、マイクロチャネルの拡張バスに接続された1つないし複数のバスマスタを、オペレーティングシステムがどのように制御するのかを定義することである。

サブシステムコントロールアーキテクチャはハードウェアのリソースを制御するための手順を、アプリケーションに提供する。つまり、データの構造（すなわちコマンドの構文）や、コンピュータシステムの各部間でデータをやりとりする方式を指定するのである。

サブシステムコントロールブロックアーキテクチャの管轄範囲は広い。たとえば、このアーキテクチャは、エラーとステータスを報告するプロトコルを備えており、そのためプログラムはすべて、標準のインターフェイスによって、システム全体のオペレーションを監視することができる。制御を続ける一方で、複数のマスタ間のシステム機能を動的に割り振ることもできる。

サブシステムコマンドブロックアーキテクチャで使われている新技術の1つに、**コマンド連結**がある。これは、あらかじめ指定されたアルゴリズムに従って、複数のバスマスタが、選択可能な複数のコントロールパスから、どれを選択するのかを決定するものだ。コマンド連結のパス選択機能によって、いくつかのバスマスタの操作を組み合わせて、〝マクロ〟としてあらかじめ定義できる。しかし、これは単なるコマンドの連続とは異なり、インタラクティブなコマンドの連鎖で、動作中にもバスマスタサブシステムは状況の変化に自由に対応することができる。

ある意味では、サブシステムコントロールブロックアーキテクチャは、システムの割り込みが必要以上に増えるのを防いでいるともいえる。自らが（割り込みから独立した）制御の手段を持ち、割り込み動作のオーバーヘッドを回避するように働くからである。実は、サブシステムコントロールブロックアーキテクチャはメインフレームコンピュータから継承した機能であり（マイクロチャネルも同様）、今後も、メインフレームコンピュータにおけるオペレーティングシステムの技術が、パーソナルシステムにもたらされるであろうことを想定しているのである。

サブシステムコントロールアーキテクチャは、複数のインテリジェントサブシステムを備えた、複雑なハードウェア構成を制御する基本的な手段として有効である。サブシステムコントロールブロックアーキテクチャを使うと、マイクロチャネルの能力を拡張して、将来的に分散型多重処理（1台のシステムに複数のマイクロプロセッサを搭載して、離れた場所にいる複数のユーザーに、同時にサービスを提供するもの）をサポートすることができる。

6.5 EISA

マイクロチャネルは技術的にはすぐれていると評価されたが、本質的にはメインフレーム技術の枠を抜き出して、パーソナルコンピュータの大きさで具体化したものにすぎなかった。しかし、大企業の驕りなのか、IBMはマイクロチャネルアーキテクチャ(MCA)の特許技術の使用権を拘束し、使用に際して多額のライセンス料を要求した。これに対し、IBMが開発した技術を無料で使うことに慣れていたパーソナルコンピュータ業界は、すっかり尻込みしてしまった。さらにIBMは、PCやATの拡張ボードと下位互換性を持つことは浅慮な考えであるという理由について、納得のいく説明ができなかったため、それまで〝ナイチンゲール〟のように業界に奉仕してきた会社の評判に泥を塗ってしまい、マイクロチャネルのマーケティングでは、たいへんな苦労を背負うことになった。

IBM側の言い訳は、下位互換を維持した場合、ISAバスやボードの欠点が、新しいMCAシステムの性能を抑制してしまうということであった。レベルセンス割り込みなどの先進技術を採用すると、エッジトリガ割り込みを行っているような古いボードは使用にたえなくなる。

新しい標準を作りなおすということは、物事を正す機会でもある。バスが最適な最高速度で動作するようにし、また信頼性を高めるのに絶好の機会であったはずだ。しかし多くの人は、マイクロチャネル仕様が、ほかのメーカーの製品を時代遅れにすることで、IBMがシェアを奪い返そうとしたのだと信じている。

マイクロチャネルに対するパーソナルコンピュータ業界の反応は、EISA(Extended Industrial Standard Architecture)を開発することだった。EISAの基本的な設計は、マイクロチャネルで実現された機能のうちで、IBMの統制下にない技術を集めたものであり、拡張バスの設計としては最も成功している。このすぐれた新しい標準規格のバスには、独自の見事なアイデアも含まれているが、実際は、ほかのバスの長所をまとめたものである。ほかのバスや、コンピュータ業界の最もすぐれた技術を、選りすぐって取り込んだだけなのだ。

ただしこれは、EISAが派生的な規格になったのは偶然ではないということを述べたいのであって、EISAの名誉を傷付けようという意図はない。EISAは最初の段階から独自の概念に基づいて設計されたのではなく、それまでユーザーに親しまれていたATバスを改良したものだが、単にATバスに16本の新しいデータラインをどう追加するかを指定しただけでは終わっていない。ほかのバスの長所(バスマスタ、拡張ボードの自動セットアップ、割り込みの共用などの機能)と、独自の新しいデータ転送モードなどの機能を組み合わせて、EISAは高性能で有能な拡張性を実現しているのである。

もちろん逆の見方をする人々から、EISAは、「委員会に手綱を握られた馬、というよりラクダ」のようなコンピュータ、というレッテルを貼られるかもしれない。実際、EISAは、いわゆる〝9人のギャング〟(AST Reserch、Compaq Computer Corp.、Epson、Hewlett－Packerd Company、NEC、Olivetti、Tandy、Wyse、Zenith Data Systemsの9社)と呼ばれる競合メーカーが、IBMのマイクロチャネルに対抗する独自の標準規格を作るために、結集して作った委員会の手によるものである。委員会は、1988年9月13日、ISAバスの流れを受け継いだ32ビット設計のバスを発表した。まったく違うものに作り替えるのではなく、以前のものとの互換性を残す道を選んだのである。

バックワードコンパチビリティ

「委員会」で決定されることは、しばしば〝ガラクタの寄せ集め〟になってしまうが、この特殊な委員会は、それとは逆の方向を目指して動いていった。委員会は、ISAこそが古いガラクタになってしまい、標準規格としてふさわしくなくなったことを認めた。最も問題だったのは、このISAバス

は、拡張カードがやりとりする方法を決めるのに必要な、バスタイミングの仕様さえ欠けていたにもかかわらず、業界を支配するまでに成長してしまったことであった。EISAは、何百社ものメーカーが別々の方向を歩み始めてから数年を経て、やっとATバスのタイミングの仕様を正式に認定した。ボードが爆発的に氾濫し、それぞれが独自の〝標準〟に従っていたため、ISAバスの互換性は、信頼のおけるものではなかった。

ISAバスの将来は、それよりもっと暗いものだった。その性能の不足やデータの扱いにおける制限は、386、486マシンはいうにおよばず、286マシンの要求にさえ対応するのが難しくなってきていた。EISA委員会の目前の仕事は、混乱の中から秩序を生み出すことだった。

ISAバスの開発メーカーであるIBMにとって、状況は芳しいものではなく、社のエンジニアは、ATバス規格をすべて捨て去ることだけが、この突破口であるという結論に達した。しかし、EISA委員会は、まったく別の考えを持っていた。ユーザーたちは、それまでに何億という金をISAバスのアクセサリ類につぎ込んでおり、また同様に、委員会のメンバー各社も、古いアーキテクチャに制限された財産を抱えていた。この双方の利益を守るため、委員会はEISA規格を作り、パーソナルコンピュータ業界を巻き込んで、EISA仕様の製品を嵐のごとく送りだしたのである。

その基本は、ATバスとの完全なる互換である。既存の拡張ボードはすべて、新しい高性能EISAマシンとプラグ互換である。また、この逆は不可能だが、いくつかの大きな妥協点を諦めれば、例外的に可能なこともある。たとえば、8MHzというバス速度の制限はそのまま継続されるし、まったく新しいタイプのコネクタが必要になる。さらに、これを可能にするためには、しのぎを削り合うIBM、EISA両陣営同士の前例のない協力も必要になる。

■ ボードの寸法

新旧の規格の物理的な仕様は、明らかに似ている。EISA拡張ボードは、ATのボードとサイズも形もまったく同じであり、最大寸法を横13.415インチ、縦4.5インチ(ボードの上から下まで)に定められている。これは〝ショートカード〟と呼ばれる小さいボードで、現在でも有効である。しかし、今後の製品に、今日のPCボードよりもさらに内部的な互換性を持たせることを目的として、特別な変更がEISAには加えられている。

表面的にはマイナーチェンジでも、実際は大きく違っていることもある。EISAボードには、測定のための共通の起点が指定されている。寸法を測定する際には、そこを起点としなければならない。EISAボードの起点は、カードの端でななく拡張コネクタの中心に設定されている。このため、許容誤差は最小となり、ボードはコネクタにぴったり収まるようになった。EISAボードは、以前のものより確実に装着することができるはずだ。

もう1つの変更点は、既存のPC拡張ボードに大きな影響を与える可能性がある。EISAは、現在あるボードについては物理的にすべてを受け入れるが、今後は、ボードに**スカート**(部品実装用のスペースとして、基盤の長辺部分の下側に出張った部分)のあるものは受け付けない(EISAは、拡張コネクタとカード装着ブラケットの間にある〝ミニスカート〟は認めている)。要するに、現在のコンピュータでもそうであるように、将来のEISAマシンでは、スロットにスカートのあるボードを装着できない場合があるわけだ。

■ EISAコネクタ

EISA仕様の核心となるのは、拡張コネクタである。この設計によって、EISA仕様の周辺機器の完全な32ビット拡張を可能にしながら、PCバスカードとの互換性も保証している。EISAの拡張コネクタは、コネクタのサイズを大きくすることなく、90個もの新しい端子を加え(うち55個は新しい信号用)、EISAボードもISAバスのボードもどちらも受け付けるよう設計されている。

新旧のどちらのボードも装着できるこのすぐれたコネクタ設計は、EISAのオリジナルコンセプトに改良を加えたものである。1988年に初めて発表されたEISAコネクタは、2基のコネクタが平行に並んだもので、2基の一方は既存のボードと接続して互換性を保つためのもの、もう1つは拡

張ボードから拡張されたもので、32 ビットのデータ転送とアドレス指定用であった。しかしその設計は、ボードをコネクタに差し込む際にかなり強い力が必要であったことなど、様々な欠点が指摘された。実際、ボードの装着に相当な力が必要であるというコネクタの欠点のため、コンピュータの製造コストを節約する、ボード自動挿入機が使用できなくなってしまった。

最初に構想されたパラレルコネクタは、ボードの挿入に 100 ポンド以上の力が必要になるのに対し、新しい EISA コネクタは、従来の拡張コネクタと同じ大きさであるため、装着には同程度の力(35 ポンド)あればいい。したがって、これなら自動挿入機でも問題はない。

新しいコネクタは、水平にではなく下方向に端子を伸ばすことによって、互換性と完全な 32 ビット拡張を実現した。つまり、新しい EISA コネクタでは、拡張機能用の端子は、コネクタの底の方に設けられている。EISA コネクタの内部にはプラスチックのストッパが 5 つあり、既存の PC 拡張ボードは EISA スロットにはおよそ半分までしか入らないようにして、PC バスボードがスロット内の上側の PC 用端子にだけ接触するようになっている。EISA ボードには、ストッパにひっかからないようなくぼみがあり、コネクタの底まで差し込める。このストッパは、ISA バスカードが EISA の端子をショートさせて、EISA マシンにトラブル生じるのを防止しているのである。EISA カードを完全に差し込むと、上下の端子は EISA ボードの 2 列のパッドにしっかり接触する。

このように深く差し込む必要があるために、EISA ボードのエッジコネクタは ISA バスボードのものよりも少し(約 0.2 インチ)長くなっている。

一方、16 ビットの AT 拡張スロットには、ストッパになるものが何もないため、EISA ボードを差し込めてしまうが、EISA ボードの端子は変わった配置になっているため、うっかり古い AT コネクタに差し込むと、信号が違った回路に送られる可能性がある。火花が出てびっくりさせられるようなことはなくても、ホストシステムの機能を損なわせる可能性は十分ある。寸法的には問題なくても、EISA ボードは EISA コンピュータ以外には装着してはならないのである。

■電力の制限

EISA は ISA バスの拡張ボードと、消費電力量の点でも互換性を保つよう配慮されている。EISA 仕様では、拡張スロットそれぞれで十分な量の電力を使用できるように想定されており、周辺機器の設計者は特殊な低電力部品を用いる必要がない。EISA では各拡張スロットについて、4 種類の電圧で 45W 以上の電力を使用できる。

もちろん、この量はシステムが供給する電力の総量を楽観視したものである。電力を欲しがっている拡張ボードを抱えた 8 つのスロット(EISA システムで想定されている最大数)の要求を満たそうとすれば、325W 以上の電力が必要になる。大容量記憶装置やシステムボード自体の分を計算に入れなくても、フルに拡張された EISA コンピュータに膨大な電力が必要になるのは間違いない。しかし、EISA の設計を見ると、拡張ボードは ISA バスカード以上の電力は必要ないようで、恐らくは以前の電力レベルで十分であると思われる。

32ビット機能拡張

そもそも新しい規格を作りだそうとする動きは、16 ビット AT バスでは、もはや Intel の新しい 32 ビットマイクロプロセッサ(特に 386SDX と 486)には対応できないという事情から始まったものだった。このような最新チップの性能を活かす試みとして最初に行われたのは、最大のブロックデータ(特に 32 ビットダブルワード)を一度の動作で送ることであった。データパスが 32 ビットに広がれば、AT スタイルのコンピュータでは、おのずとデータ転送速度は 2 倍に高速化できる(ただし、ほかの条件が同じである場合)。しかし、EISA のやり方はまったく違う。新しく 16 本のデータラインを加えて、ISA バスをしのぐ性能を簡単に手に入れたのである。

■アドレス指定の拡張

AT バスにおいて、高性能なマイクロプロセッサの足かせになっていた部分はそれだけではない。AT バスの 24 本のアドレスラインは、直接アドレ

ス指定できるメモリ（EMSで使われているようなバンクスイッチメモリではなく）の最大値を、16Mバイトに制限していた。Intelの32ビットマイクロプロセッサの4Gバイトというアドレスに対応するため、EISAはアドレスバスを完全な32ビット対応へと拡張した。この新しいアドレス信号には、頭に〝LA″を付けた名前が与えられている。

EISAでは8本のアドレスラインにとどまらず、低位のアドレスビットを示すラインも新たに加えられた。この変更はISAバスの機能の一部と重複するものであったが、重要な変更であった。EISAの低位のアドレスライン（LA2からLA16まで）はラッチされており、アクセス期間の最初だけでなく、アドレスサイクルの間ずっと安定した信号を出す。また、EISAのアドレス拡張（上位の8ビット）もラッチされる。

■ バス幅信号

32ビットのデータバスは、データ転送の際にかならずしも全部が必要なわけではない。たとえば、プログラムが1バイトだけのデータを、あるメモリから別のメモリへ移そうとする場合などがそうだ。こういう場合のために、EISAには、バス上のダブルワードデータのうち、どのバイトが有効になっているかを示すための新しい信号が用意されている。これらは**バイトイネーブル**信号と呼ばれ、BE0からBE3まで4本ある。

以前のバスの拡張ボードとできるだけ互換性を保つため、EISAは8ビット、16ビット、32ビットのいずれかのインターフェイスを持つデバイスなら、どれでも使用できるように設計されている。しかしこのため、デバイスが32ビットデータを、別の16ビットのインターフェイスしか持たないデバイスに書き込んでしまうのを防ぐ手段が必要になる。

これに対しEISAは、デバイスが転送できるデータのサイズを示す、2本の信号を用意した。32ビットのEISAバスにアクセスしたことを知らせるときは、デバイスはEX32信号を送る。同様に、EX16信号は、デバイスが16ビット転送しかサポートしていないことを示す。どちらの信号も存在しなければ、システムは一度に8ビットしか扱えない特別なデバイスであることを前提に動作する（ISAバスにも同様の信号があるが、この場合は、転送が8ビット幅か16ビット幅かの選択を表わす）。

■ データ幅の変換

EISAは、バス幅を知らせる信号が送られても、停止することはない。また、バス幅を自動的に変換する機能も持っており、たとえば、EISAカードの32ビット信号が、ISAバスの拡張ボードでも受け付けられるように、8ビットずつ4つの連続した信号に分割することもできる。特別な集積回路であるEISAバスコントローラが、データをしかるべきデータ経路へ移動させ、適切なバスの制御信号を送るのだ。

新しい転送モード

EISAは、ISAバスにデータとアドレスの容量を増やす信号を加えただけではない。別の新機能に関連する信号も、新たにバスの端子へ割り当てられている。追加されたのは、バーストモード転送をサポートする信号（MBURSTとSLBURST）、高速データ転送を補助するタイミング信号（STARTとCMD）、ウェイトステートを挿入してバスの速度を落とす信号（EXRDY）である。さらに、バスアービトレーションを行うために、スロットを指定する信号（MREQ*x*とMAK*x*）もあるが、これについては後に述べる。これとは別のスロット指定信号であるAEN*x*信号は、ISAバスの信号割り当てを定義しなおしたものである。この信号によって、拡張ボードはそれぞれ独自に応答できるようになり、個別のアドレス指定や制御が可能になる。

これらのスロット指定信号では、最大15個のスロットを識別できることになっている（信号名の〝*x*″の部分には16進数の番号が入る）。しかしEISAの仕様では、システムが8本を超えるスロットを持つことは好ましくないと述べられている。

EISA規格では、ISAバスのほかの信号も、すべて以前の定義と機能をそのまま保持しているため、古い拡張ボードとも互換性を保つことができる。しかし、そのためにEISAの開発者が直面した試練は、古い拡張ボードにも対応しなければな

らないコネクタに、追加された信号をどう収めるかであった。

ATバスをより高速に動作させようとすると（より高いクロック周波数を与えようとすると）、互換性がやっかいな問題になってくる。バス内のデータ転送速度に同期しているクロックスピードを、何も考えずに上げるなどという方法は論外である。なぜなら、スピードを上げることによって、既存の拡張ボードに問題が生じるからである。多くのISAバスボードは、バスの速度がATの8MHzや互換機の10MHzを大幅に超えてしまうと、その速度に追従できなくなるのである。

■バスクロック

互換性を確実なものにするため、EISAは拡張バスを動かす実際のクロックスピードは上げていない。仕様では、バスクロック（BCLK信号）を、6～8.33MHzの間に固定するよう規定している。8.33MHzという数字は、今日一般的なマイクロプロセッサのクロックスピードである33MHzの4分の1である。

バス速度は、システムのクロック周波数の約数である。それはEISAが、名目上は**同期バス**であり、ホストマイクロプロセッサに同期して動作するからである。ただし、これは必ずしも決まったことではない。より高速なデータスループットを実現するために、バスマスタが制御を引き受け、システムタイミングの一部を変更することができるのである。

バス速度の制限は、MHz単位で表わすクロックの違いよりも厳密なため、このようなタイミングの変更は不可欠である。ISAバスの実際のデータ転送速度は、一度の転送で2サイクルを要するという制約のため、遅く抑えられている。ISAバスは1バイト転送するごとに、階層を成した複雑なバスコマンドを実行しなければならない。EISAもこの転送モードをサポートしてはいるが、それとは別に高速化を図る独自のモードを2種類追加している。**圧縮転送**と**バーストモード**である。圧縮転送は、データを1.5サイクルで転送するため、結果として速度を50パーセント上げることができる。バーストモードは1サイクルで転送するため、毎秒33Mバイトという効率の良い速度を実現する（バス速度8.33MHz、データパスが32ビットの場合）。

■圧縮サイクル

EISAの圧縮サイクル操作のポイントは、バスクロックの補助をする特殊なタイミング信号であるCMDにある。圧縮転送が行われている間、CMD信号はバスクロックの2倍の速度で動作し、その期間に合わせてデータ転送が要求される。

■バーストモード

バーストモードでは、データ転送のアドレスは、各クロックサイクルの最初（データを書き込む場合）または終わり（データを読み出す場合）に出力される。実際には、この動作はCMD信号に同期しており、クロックサイクル開始の0.5サイクル後または1.5サイクル後にバスに出力される。

EISAのバーストモードには制限もあるが、利点もある。転送開始位置のアドレスだけが指定されるマイクロチャネルのストリーミングデータモードとは異なり、EISAのバーストモードでは、転送ごとにアドレスが与えられるため、不連続なデータも送ることができるのである。ただし、バーストサイクルの間は、下位10ビットのアドレスしか変更することができず、事実上、転送できるメモリのアドレスは、1,024ダブルワードのブロック内に制限されてしまう。さらに、EISAでは、読み出しと書き込みは信号のタイミングが異なるため、1バーストサイクル内に読み出しサイクルと書き込みサイクルを混在させることはできない。

かつては高速マシンであったPCの動作速度33MHzと、データ転送最高速度の毎秒33Mバイトを混同してはならない。EISAバスもこれらのマシンのシステムメモリも、32ビット幅ではあるが、EISAバスのバスクロックの最高速度は8.33MHzのままであり、実質上はシステムボードメモリの速度の4分の1である。つまり、EISAマシンでも、古いマシン同様、スロットに組み込まれたメモリは、システムボードメモリよりも速度が遅い。高性能（実用的な用途すべてにおいて）を謳うEISAコンピュータには、システムクロッ

ク(バスクロックではなく)で動作する専用のメモリ用拡張スロットが、今後もしばらくは備えられるだろう。

DMAの問題

ATのバスで改良が必要な部分の1つに、ダイレクトメモリアクセス(DMA)のシステムがある。DMAコントローラは、本来ならシステムを高速化する能力を持っているのにもかかわらず、PCやATではその効果を示すことはできなかった。これらのシステムでDMA転送を行うとうんざりするほど遅く、そのためATではハードディスクの転送での使用は諦めるしかなかった。

ATでDMA転送を実行すると、大抵は毎秒1Mバイトという極端に遅い速度でしか行うことができなかった。3本の16ビットDMAチャネルが使われていたATでは、理論上は毎秒2Mバイトの速度が出せるはずだが、DOSが8ビット転送しかできないため、このような速度になっていたのである。

EISAが採用した新しいDMAのタイミングとテクニックは、EISAの設計の中でも最も独創的なものの1つである。EISAには、ATと互換性のあるDMA転送に加え、ほかに3つのタイプのDMA転送が追加されている。**タイプA**、**タイプB**、**タイプC**と呼ばれるもので(タイプCは**バーストDMA**とも呼ばれる)、3つとも8ビット、16ビット、32ビット転送が可能である。さらに、違った場所に同じデータを送る**複数同時転送**も可能になった。EISA規格では、バーストモードで32ビット転送を行う場合、最高毎秒33Mバイトという速度のDMA転送が実現できる。

EISAでも、デフォルトのDMAタイミングは、AT互換の8ビット転送という遅いモードに設定されている。EISA仕様には、ソフトウェアのドライバを使って、ISAバスの古いボードを蘇らせることのできるモードもある。専用のドライバがあれば、ISAバスの拡張ボードの多くがタイプA転送を利用でき、中には倍速のタイプBに対応できるようになるものもある。なお、EISAボードはタイプC、もしくは、各タイプの32ビット転送しか利用できない。

いずれのタイプのDMA転送でも、データ転送速度はAT互換のものよりは速い。データパスが広くなったために、タイプAの転送速度は、AT互換のDMA転送より、およそ30パーセント速く、タイプBなら2倍の速度となる。タイプCでは4倍以上の高速化が実現する。

■タイプA転送とタイプB転送

このような高速化のほとんどの部分は、DMA転送に要するバスサイクルが少ない、独自のデータ転送プロトコルによる。ATの環境下では、一度のDMAの転送(8ビットまたは16ビット)には8バスサイクルが必要であり、しかもその間ほとんど何も動きは発生しない。タイプA転送は、単に一度のDMA転送ごとに無駄な2サイクルを削減したものであり、タイプBはもっと極端にDMA転送のサイクル数を削って、4サイクルにした転送である。新しい拡張ボードは高速で動作できるため、多くのISAバス用の拡張カードはこのような速度で動作できるのである。

■タイプC転送

EISA仕様では、タイプCのDMA転送は、必要な信号処理をすべて圧縮して1バスサイクルですむように加工し、バスクロックの立ち上がりと立ち下がりの時点で、各信号が変化するようにしている。EISAの拡張カードだけがこの方法を利用できるが、転送にあたっては制限がある。この狭いタイミングの範囲内では、アドレスの最下位10ビットしか変更できないのである。したがって、EISAのバーストモードでDMA転送を行うと、転送できるデータのアドレス範囲の大きさは、1,024バイト以内の1ページだけに限定される。

■DMAアドレス指定

転送モードの高速化に加え、EISA仕様はDMA転送が可能な範囲も広げた。ISAバスのシステムはアドレス指定の制限のため、メモリアドレスの下位16Mバイト内でしかDMA転送が行えなかったが、EISAでは物理メモリ4Gバイトの範囲でならどこでもDMA転送を行うことができる。

DMA転送中にデータが動く速度は、一度にど

れだけのデータを転送できるかによって決まる。EISAのDMAチャネル7本は、それぞれ最高32ビットまでサポートしているが、優先順位だけ異なっている。EISAのシステムに負担がかかっているときは、数字の大きいチャネル(5番から7番)がより多くの処理を受けられる。

割り込みの制御と共用

ISAバスのシステムが長く生き残れなかった理由は、速度とデータ幅だけではない。拡張ボードを数枚差し込むだけで、システムの割り込みが役に立たなくなってしまうことも原因である。入出力チャネルに接続されていたほとんどのデバイス(ハードディスクからシリアルポート、ビデオコネクタまで)が、性能を最大に発揮するためには、少なくとも1つずつの割り込みを必要とする。

PCでは8個だった割り込みは、ATになってさらに7個追加されたが、それでも足りなかった。この流れに従って、EISAでも同じように新しい割り込みチャネルをシステムに加えていたかもしれない。しかし、その方法だと、割り込みを増やす分だけ複雑になり、コストも高くなってしまう。

そこでEISAでは、周辺機器間で割り込みを共用するという、合理的な方法が採用されることになった。EISAのシステムがどんなに拡張されても、割り込みを共用すれば、現行の15個の割り込みでどんな要求にも応じることができる。

ところが、実際にはISAバスとの互換性を維持することも、割り込みを共用することも、技術的にはほとんど悪夢のようなものだった。その主たる原因は、ATバスが採用していたエッジトリガ割り込みにある。もちろん、レベルセンス割り込みなら本質的にノイズの感知度は低く、信号が混同されることは少ない。しかし、PCの環境でレベルセンス割り込みを使うことには問題が多い。エッジトリガ割り込みを使用するソフトウェアで、レベルセンス割り込みのハードウェアを使うことには困難が伴う。

別の問題として、既存のエッジトリガボードとの互換性を保つこともある。特に、1つの割り込み制御線を2種類の割り込みで共用しようとすると、うまく機能しないことが懸念される。しかし、以前のバスとの互換性を実現するには、それ以上問題を増やさずに、2種類の割り込みを組み合わせて使う方法を見出す必要があった。

EISAで試みられた方法は、それぞれの割り込みを個々に、エッジトリガかレベルセンスのいずれかにプログラムできるようにすることである。古いボードを使う場合は、必要に応じてエッジトリガ割り込みを使うことができ、その場合1つの割り込みに対してボードは1枚しか割り当てられない。一方、EISAの拡張ボードは、レベルセンスでプログラムされたほかの割り込みを共用することができる。

このシステムの唯一の障害は、レベルセンス割り込みは、エッジトリガ割り込みとは異なる種類のハードウェアを必要とすることである。この違いのために、エッジトリガ割り込みを使うように設計されたボードを差し込むと、レベルセンス割り込みを使うボードに邪魔されて、エッジトリガ割り込みが使えなくなってしまう。

また、この技術上の違いによって、搭載されるハードウェアが衝突によってダメージを受ける可能性もある。幸い、EISAの設計では、レベルセンス割り込みを使うボードの割り込みラインに、電流制限抵抗を入れるように指定することによって、この危険を最小限にとどめている。しかしEISAは、EISAの拡張ボードでしか割り込みの共用をサポートしていない。それ以前のバスの拡張カードは互いに、あるいはEISAカードと割り込みを共用することはできない。

バスマスタ

EISAがほかのバスから継承した機能のうちで最も有効なのは、マイクロチャネルのバスマスタである。ただし、EISAのシステムでは、動作も各部の名称もIBMのものとは異なっている。これはオリジナリティを持つためだけではなく、IBMの設計が、特許やほかの知的所有権で保護されているためである。EISAのシステムでは、アービトレーションを制御する部分はISP(Integrated System Peripheral)チップと呼ばれている(不思議なことにEISAバスコントローラではない)。ISPは、ちょうどマイクロチャネルの中央アービトレーション

制御点と同じ役割を果たし、どのシステムが拡張バスの制御権を取るかを決定するものである。

■ アービトレーションの優先順位

どのようなアービトレーションシステムにもルールがある。たとえば、近所の子供たちを面倒見なければならない母親がいるとして、平和と静けさを保とうとするなら、まず、いちばん騒々しい子供に、規則を守らせようとするのではないだろうか。EISAにはもっと実用的で、決定的な優先順位のルールがある。EISAでは、メモリリフレッシュ、DMA転送、マイクロプロセッサとバスマスタという3つの段階を順々に制御権が巡っている。コントロールサイクルごとに、3つの要素が交代で制御権を受け取っている。もし複数のDMAチャネルがバスの制御権を要求した場合でも、1コントロールサイクルにつき、1つのDMAチャネルしか制御権を受け取れない。制御権は、まるで中華レストランの円卓のようである。アービトレーションサイクルが回るたびに、今回はA列のメモリリフレッシュ、次はB列のDMA、そのまた次はC列のバスマスタとマイクロプロセッサ、というようにシステムはどれか1つを選択するのである。

また、制御権は、EISAの6本のDMAチャネルの間でも、要求しているチャネルすべてに制御権が行き渡るまで巡回する。実際には、このローテーションは、ローテーションの中にもう1つのローテーションがあり、1回につき2サイクル回るという複雑なシステムになっている。優先順位の高い3本のDMAチャネル(ISAの16ビットチャネルに相当するが、EISA仕様ではどんな幅の転送も可能)の間にまず1つのローテーションがあって、優先順位の低い3本のDMAチャネルの間にもう1つ別のローテーションがある。そして、優先度の高い3本のチャネルの間を完全に順番が回ったら、今度は優先の低いほうチャネルのうちの1本が制御権を得る、という仕組みになっている。

マイクロプロセッサとバスマスタにも、また別の複雑なルールがある。マイクロプロセッサとバスマスタの列が選ばれるたびに、マイクロプロセッサとバスマスタのうち、直前のサイクルで選択されていなかったほうが制御権を得る。つまり、マイクロプロセッサとバスマスタは、交互に制御権を得ていることになる。さらに、バスマスタの順番が回ってきたときには、今度はどのバスマスタが制御権を得るかを決めるサイクルもある。

メモリリフレッシュは、EISAシステムの中では一番優先順位が高く、どのアービトレーションサイクルにも、必ずメモリリフレッシュが含まれている。これは、メモリリフレッシュをしないと、システムがクラッシュしてしまう可能性があるためである。その次に優先順位が高いのがDMA転送で、アクティブなDMAチャネルのどれか1つが、1サイクルごとに制御権を得る。マイクロプロセッサがその次で、少なくとも1サイクルおきに制御権を得ている。バスマスタはマイクロプロセッサと同じか、それ以下の頻度で制御権を得る。たとえ複数のバスマスタがアクティブになっていても、それぞれに順番が回ってくるのは数サイクル先である。

■ アービトレーション信号

このようなアービトレーションの複雑な過程に比べ、これを行っているハードウェアは実に単純である。各拡張ボードに必要なのは、2本のスロット指定信号だけで、制御の論理はすべてISPチップの中に組み込まれてるため、拡張ボードの設計者は複雑な意思決定回路の心配をする必要はない。

バスマスタボードがバスへのアクセスを要求するには、メモリ要求ライン(EISAの用語では略してMREQ*x*と呼ばれる。〝*x*〟にはスロット番号が入る)で、その意志を伝えるだけでいい。あとはISPが、バスマスタが装着されているスロットに対応したメモリアクノリッジ信号(MAK*x*)で、バスマスタにバスの制御権が与えられたことを知らせてくれる。

EISA規格にはATバス専用のバスマスタもある。この場合、カードはバスを制御するのにDMA信号を使う。DMA要求ライン(DRQ)がバスを使用したいという要求を伝え、承認されるとそれに対応したDMAアクノリッジリンクライン(DAK)からボードに応答の信号が返ってくる。

このようなISAバスマスタは、EISAタイミン

グ信号にはアクセスしないので、必要以上に長くバスを占有する可能性がある。その場合、ほかの転送に悪影響を与える恐れがある。その転送とは、制御権が与えられるわけではないが絶対に必要な機能、メモリリフレッシュである。このためEISAの設計では、これらのボードに、バスへのアクセス時間を制限するタイミング回路を組み込むことを要求している。

自動セットアップ

EISAの設計者がシステムの中に封じ込めた魔法を、うまく働くようにするのには、〝魔法の杖〟が必要になるのでは、と思うかもしれない。しかし、実際に必要なのは、アドレス指定と割り込みへの配慮くらいのもので、4種類のDMAのタイプ、データ転送モードなどにまつわる呪文を唱える必要はまったくない。この発明がなかったら、ISAバス用の拡張ボードをセットアップする作業は、フラストレーションのたまる大仕事となっただろう。なにしろ、ボードや既存の割り込みやホストシステムのメモリを、それぞれ必要に応じて、DIPスイッチやジャンパスイッチで注意深く設定しなければならないのである。どこか1箇所を間違ったり(間違いは、マニュアルのできの悪さに起因することがほとんどだが)、ホストシステムが立ち上がらないような場合、自分で問題の原因を突き止めなければならない。しかし幸いなことに、EISAは、このようなセットアップの問題を解決する手段を備えている。

EISAは、システムリソースの割り当ての重複を、自動的に回避できるように設計されている。また、セットアップ用のソフトウェアが組み込まれており、自動的にシステムを構成している間に、割り当ての重複を発見し、警告し、さらに正しく直してくれるのである。このソフトウェアでも解決できない場合には、以前のようにスイッチとジャンパでボードの設定を行うこともできる。

EISAは、入出力ポートの重複も自動的に防ぐようになっている。ISAバスのマシンでは、拡張ボードは100hから3FFhの間で、必要に応じたポートが選べるようになっていた。そのため、ボード製造メーカーが選定した範囲の中からポートを選ぶという作業も、ポートの重複を探してそれを解決するという責任もユーザーに残されていた。

それとは対照的に、EISAは各スロットのポートに、それぞれ固有のI/Oポートアドレスの範囲を設定している。各ボード内で使えるポートアドレスは、16進数の3桁に収まる範囲という制限については変わらないが、各スロットを識別するための1桁のポートアドレスを追加することで、そのスロットに装着されたボードで利用するポートと、ほかのボードで使うポートを区別できるようにしている。この方法なら、2枚のボードが同じI/Oポートアドレスを使ってしまうという事態は、物理的に回避できる。

また、各ボードは、すべてのボードで共通の場所に格納されている情報を検索するために、個別にアドレス指定することができる。各スロットのAEN*x*バスラインを選んでアクティブにすれば、EISAのホストシステムがボードを個々に調査し、分離し、識別してくれる。

EISA拡張ボードの各モデルには、それぞれ独自の**EISA製品識別子**が割り当てられている。これはボードのI/OポートアドレスのC80hからC83hに記憶されている。最初の2バイトには、圧縮した形で3文字の略号が納められており、これはボード製造メーカーを識別するものである(〝ISA〟という略号は、ISAバスの呼称を表わすものとして予約されている)。次の1バイトが2桁の製品番号で、最後の1バイトが2桁のバージョンナンバーとなっている。製造メーカーの略号は、EISA仕様を発布している組織であるBCPR Serviceが決めている。製品番号およびバージョンナンバーは、各メーカーが独自に決める。システムボード自身も、似たような方式の識別番号を持っている。

スロットとカードを識別する仕組みのことを、**自動セットアップシステム**という。標準化されたセットアッププログラムを使えば、システムのリソースを自分なりに配置することもできるし、まったく自動でシステムをセットアップすることもできる。

このシステムは、多様な構成要素をうまくまとめることができる。セットアップの情報は、ATクラスのマシンでも使っているCMOS設定メモリ

の追加部分に保存される。バッテリでバックアップされる追加のCMOSメモリは、拡張スロットに装着されたボードの基本的なパラメータを記憶するのに割り当てられている。

この情報をメモリにロードするために、EISAシステムの製造メーカーは、ディスクまたはROMに、セットアッププログラムを用意している。このプログラムは、設定ファイルによるセットアップが必要な製品に組み込まれている。設定ファイルは、ディスクベースのデータベースレコードで、EISA仕様の標準フォーマットに従ったセットアップ情報を保存するものである。セットアップ用プログラムは、ディスク上のデータを読み込んでから自分をカスタマイズし、パーソナルコンピュータ本体にインストールされた製品のセットアップを行う。

製品の識別番号は、キーとして使われる。識別番号はCMOSメモリに記録されているが、システムの電源がオンになるたびに設定ファイルを探し、この番号と照合する。システムは、不揮発性メモリにボードのセットアップ情報を一括して記憶しておく。そうすれば、拡張機器のひとつひとつに、このようなメモリを組み込む無駄が省ける。

EISAマシンの間では、セットアップ用プログラムのインターフェイスまで標準化されているので、1台のEISAマシンをセットアップできれば、ほかのすべての機械の設定も、同じ方法で行える。初めてEISAマシンのセットアップを行う場合でも、セットアップの手順をマスターするのは簡単である。画面に表示されるメニューの中から、希望するものを選択するだけである。

EISAは特に独創的ということはないが、全体としてよく考え抜かれた、完成度の高いシステムであるといえる。ISAバスに対しては、ほかにも様々な機能拡張が開発されてきたが(IntelのOEMシステムボードの32ビット拡張スロットなど)、どれも業界から大きな支持は得られなかった。一方、業界に影響力を持つ〝9人のギャング〟の後押しで、EISAは自動的に支持を得た。EISAの弱点は、初期のうちはコストがかかることで、発表から4年を経た現在でも、実質上普通のISA技術よりも多くの投資が必要になる。EISAに必要な追加回路は、パーソナルコンピュータやマザーボードの小売りレベルの価格を1,000ドルも引き上げてしまった。さらに、EISAの進んだ機能を生かせるソフトウェアの数は、4年たってもなお少ない。EISAは(マイクロチャネルのように)市場でのチャンスの糸口を失ったのである。そして、「ローカルバス」という、古いがすぐれたアイデアがEISAのすぐ後ろに迫っているのだ。

とはいえ、EISAが完敗したというわけではない。多くのEISAシステムがネットワークサーバで大きな威力を発揮してきたからこそ、目の高いユーザーは高価(あるいは価値ある)といわれる機能でも気前よくマシンに加えるのである。設計の効果は申し分ない(少なくとも技術的にはマイクロチャネルの標準には達していないが)。したがって、EISAを退ける理由は特に見当たらない。しかしながら、現行のソフトウェアでシステムを動かしている個人ユーザーにとっては、その負担に見合うような利点はない。

6.6　ローカルバス

1991年になると、拡張ボードの効率を高めようと、多くのパーソナルコンピュータや周辺機器メーカーは、数年前のローカルバスの概念に着目した。この概念は、元をたどれば最初のIBM PC(およびXT)の拡張バスにまでさかのぼる。ローカルバスは、最高の効率、周辺機器とマイクロプロセッサのダイレクト接続、マイクロプロセッサと同じ速度、同じデータパス幅での周辺機器の動作、こういったものを実現させようというバスである。

表面的には過去の技術に逆戻りしたが、実際に

は、モニタ画面の更新をより速く行えるシステムができあがった。このことには何ら不思議は点はない。理論上ローカルバスは、EISAやISAなどの、486マイクロプロセッサを搭載した50MHzのコンピュータより、6ないし12倍の速度でデータを転送できるからである。バスの実スピードも6倍速く(ISAの8.33MHzに対して50MHz)バス幅も32ビットである。

しかし理論を比較してみると、初期のローカルバスには2つのものが不足していた。実際のスループットと標準規格である。

世に出た最初のローカルバス製品は、ディスプレイシステムのためだけに開発されたものだった。これにより、ビデオは、普通のI/Oバスを使うよりも約30パーセント速くなった。しかしその後、ほとんど改良がなされなかったのには多くの原因がある。その1つはビデオ固有の原因で、ディスプレイの性能を抑えていたのはバスだけではなく、解像度の高い画像によって、マイクロプロセッサのパワーや時間が奪われてしまうという問題である。また、ローカルバスを使うと、マイクロプロセッサは、バス転送のすべてのオーバーヘッドを引き受けなければならなくなるという問題もあった。

さらに、標準化も問題である。ローカルバスは拡張できる設計にはなっていないため、PC時代に標準規格の制定が取りざたされることはなかった。むしろ、ローカルバスの接続は、マザーボードのビデオ信号を転送するためには便利で速い手段だった。コネクタがないため、互換の問題も標準の問題も起こりようがなかったのだ。しかし、ローカルバスの速度に注目し、高速なデータ転送が必要な装置同士を接続するには、これが理想的な方法になるだろうと考えたパーソナルコンピュータや周辺機器のメーカーは、マザーボードにローカルバスのコネクタを設置するようになった。その途端、互換性の問題が持ち上がったのである。

1992年になると、業界の標準規格となるような3種類の接続が現れた。チップメーカーのOPTi社の提案を基にした**OPTiバス**、VESA(Video Electronics Standards Association)が打ち出した**VESAローカルバス(VLバス)**、そしてIntelが開発した**PCI**(Peripheral Component Interconnect)である。

逆行する設計

前述のとおり、PCバスの大きな制約は、それがローカルバスであるということだった。たしかにローカルバスの概念は、それより進んだ拡張バスで具体化されたものとは対極に位置する。マイクロチャネルやEISAが、オーバーヘッドを軽減するためにマイクロプロセッサをバス制御の中心から外したのに対し、ローカルバスはマイクロプロセッサをバス制御の中心に引き戻すものである。マイクロチャネルとEISAが、バス転送を専用のバスコントローラにまかせるのに対し、真のローカルバスは、マイクロプロセッサにすべての制御をさせるのである。

この設計から分かることは、ローカルバスでシステム全体の性能を上げようとするなら、さらにパワフルなマイクロプロセッサが必要になるということである。一方、マイクロチャネルもEISAも、同じ性能のプロセッサを使った場合、入出力要求が重くなっても、システムの性能を上げることができる(バスマスタを利用する、適当なソフトウェアが必要)。オーバーヘッドは、バスコントローラや、実際にバスを使うバスマスタに移る。したがって、マイクロチャネルのシステムに搭載された286チップは、バスアービトレーション機能のないシステムの286より、はるかに速くマルチスレッドアプリケーションを実行できる。

最低限満足のいくような性能を、コンピュータに与えようとするメーカーなら、恐らくバスアービトレーション機能を採用するだろう。同じように、より高性能のマイクロプロセッサを開発しようとするチップメーカーなら、ローカルバスを擁護するにちがいない。

もちろん、物事はそれほど簡単ではない。白か黒かといった議論に終始してしまえば、核心は見失なわれてしまう。どのローカルバス規格も、文字どおりのローカルバスとはいえない。たとえば、いずれのローカルバスもさらに装置を増やそうとすれば、必要な電流を回路に供給するためのバッファが必要になる。また、バススロットを追加する場合にも、十分な電流を供給し、スロットのト

ラブルでマザーボード回路にダメージを与えないように、バッファが必要になってくる。

実際のローカルバス規格は、その名が示す真のローカルバスとはほど遠いものである。たとえば、OPTiの設計は非同期動作を前提にしているし、VLバスとPCIはどちらともバスマスタとアービトレーション機能を備えている。

ローカルバス規格が名ばかりなのは、もちろん周囲の状況がそうしてしまったからである。しかしその名にふさわしくない新機能が、ローカルバス復活の大きな力となることもたしかである。3つの標準規格はローカルバスの高速性を取り入れながらも、その欠点や、ほかの拡張バスが抱えているような欠点を排除している。さらに、この3種のローカルバスは、1つの標準へ向かって集まり、今後2、3年の間は、高速パーソナルコンピュータの最適な拡張手段として、ローカルバスが使用されていくと思われる。

速度の障害

ローカルバスを採用すれば、技術者は頭を悩ませることもなく、適度な速度で動作する電子回路を、たとえばGHz単位の速さにでも設計することができる。しかし、これが拡張バスとなると、様々な技術的な問題で頭を抱えることになる。たとえば、干渉によって、高速なバスとほかの電子回路とのやりとりが、不安定で不確実なものになるという、電気的な問題がある。しかし、それに加えてエンジニアは、回路の中の電子だけでなく、ユーザーの要求にも応えなければならない。ときとして、ユーザーは、ベストを尽くした設計でも、そっぽを向いてしまうことがある――これは、マイクロチャネルが遺した教訓である。

電気的な制限

拡張バスには、ほかの回路よりも多くの技術的な問題が課されている。たくさんの相容れない要求のバランスを取らなければならないからである。まず、拡張バスは可能な限り高速な転送速度を実現しなければならない。さらに、拡張バスは周辺機器を接続するために、できるだけ多くのコネクタを備えなければならない。しかし、機器が密集しないように機器の厚さを考えて、コネクタの間隔を空けなければならない。

速度が上がれば、信号の輻射も増える。また、回路の長さが伸びても、そこを移動する信号の輻射も増える。一方、輻射を最小限に抑える方法は、速度を遅くすることと、バスを短くすることである。しかし、多くの周辺機器を高速な拡張バスに接続したいと考えるなら、どちらの方法も採用することはできない。バスの信号をうまく配置すれば(たとえば、マイクロチャネルのように信号と接地を交互に置く)、回路間の相互干渉を最小に抑えることができるが、ISAボードと互換性を持とうとすれば、信号を配置しなおすという方法で解決することはできない。まさに、EISAがそうであった。

互換性の問題

新しいローカルバスでは、昔からの壁を打ち破るために、互換性に関しては独自の考え方を持っている。EISAが互換性を拡張スロットレベルで実現したことは、業界の関心を引き付けた。EISAの解決法は、古い拡張ボードを動作させる最良の方法は、とにかくどこでもよいから、パーソナルコンピュータの空きスロットにぶち込むというものだった。

投資を無駄にしないようにISAボードを利用する場合、何もすべてのスロットに差し込めるようにする必要はない。バスの設計を新しく前進させる理由の1つは、新しいボードの性能を生かすことである。しかし、古いボードの速度制限が、ISAのようなバスによるものではなく、ほかの要因によるものである場合には、その古いボードも残しておきたいと思うであろう。たとえば、拡張バスの能力を超えるようなスピードを要求するモデムはない。なぜなら、変調機構とデータ圧縮の機能を持つ最高速のモデムでさえ、毎秒38,400ビット程度の速度でしかデータを転送しないからである。つまり、古いボードも差し込める大きさのスロットが、適当な数だけあればよいのだ。すべてのスロットが下位互換性を持つ必要はない。

これこそが、すべてのローカルバス規格がとったアプローチである。EISAが要求した**スロットレ**

ベルの互換性ではなく、ローカルバスはシステムレベルの互換性を提供しているのだ。旧式のボードを使いたい場合は、システム内に1つ以上備わっている下位互換性のあるスロット差し込めばよい。それ以外のスロットでは、ローカルバスの高速性を享受できる。

したがって、ローカルバスマシンは、複数の拡張バスを備える必要がある。実際、ローカルバスのパーソナルコンピュータは、すべて3つのバスを装備している。従来の拡張バスとの互換用(ISA、EISAのどちらか、あるいはマイクロチャネル)と、高速ローカルバス用、そしてメモリ用である。ローカルバスは、古いバスを置き換えるのではなく、高速な拡張機能を与えることによって、それらを補っている。したがって、何も犠牲にすることなく、新旧それぞれのすぐれた機能を利用できるのである。

スロットの制限

しかしこのために、ローカルバスでは、装置の追加が問題になってくる。もし、パーソナルコンピュータをそこそこの程度に拡張しようとすれば、装置の追加が必要であるが、ローカルバス規格はいずれも、バスに接続できる高速デバイスの数を、3台までに制限している。

注意すべき点は、制限がスロットの数そのものではなく、デバイスに設けられたことだ。ローカルバスシステムの多くが、マザーボードベースのディスプレイシステムにはバスの接続を使っている。するとローカルバスは、ディスプレイシステムを装置の1つとしてみなす。つまり、ローカルバスパーソナルコンピュータでマザーボードにビデオ回路がある場合は、ローカルバス用拡張スロットを2つまでしか備えられないことになる。

デバイスは3台までという制限は、速度に配慮した結果である。バスが大きくなればなるほど、相互干渉の発生する距離が伸びるため、回路間の負荷容量も大きくなる。また、コネクタ自身もさらに負荷容量を増す。速度が増すにつれ、回路の負荷容量は信号を徐々に減衰させていく。負荷容量による損失を防ぐには、信号を強くしなければならない。ローカルバスの信号を適当なレベルに保ちつつも高速を維持するには、デバイスを3台に制限する必要があるわけだ。

ローカルバスの擁護派は、デバイスの制限は実用には何ら支障はないと言う。パーソナルコンピュータには、ローカルバスが3つのデバイス、すなわち、ビデオシステム、大容量記憶システム、ネットワーク接続で使う、3つの高性能スロットがあれば十分というのである。

高速SCSIホストアダプタは、大容量システムのために割り当てられた1つのバススロットに、複数のハードディスクやディスクアレイやほかのデバイスをつなぐことを可能にする。もし、3スロットのローカルバスシステムよりもさらに高速な拡張を望むのであれば、普通のパーソナルコンピュータ以上のコンピュータを手に入れるしかない。

設計上の利点

ローカルバスのテクノロジーは古く、その必要性が最初に認識されたのは1987年にまでさかのぼる。そのわずか4、5年後に、新しいローカルバスの設計がなされたことは、奇妙に見えるかもしれないが、これは、ほかの先進的なバスが失敗したため、高性能を確実に約束してくれる高速バスが早急に必要になったためである。マイクロチャネルとEISAは、転送速度をいくらか上げることには成功したが、マシンの総体的なオペレーションには、特に劇的な違いは見られなかった。たとえば、マイクロチャネルやEISAマシンはバスマスタという大きな利点を備えていたのに、結局それを生かすことはできず、生かせたとしても画面上に何らかの変化が現れるようなものではなかった。

一方、ローカルバスなら違いを簡単に目で確かめられる。こういった表面に現れるような改良は、マーケティングにおいては最大の強みとなる。ローカルバスを使うと、パーソナルコンピュータは今までより速く動いて見えるのである。実際、表示速度に拘束されるようなタスク(たとえばCADやWindowsのアプリケーション)なら、ローカルバスはパーソナルコンピュータの全体的な動作を、いっそう速めることができるのである。

そのため、当然といえば当然だが、ローカルバス規格を最も強力に推進している組織は、ビデオ

システムの関連企業が集まった委員会「VESA」である。つけ加えると、ローカルバスはもともと拡張バスとしてではなく、パーソナルコンピュータに高速のビデオを提供する手段として採用されたものである。

現在のローカルバスが現れる以前は、パーソナルコンピュータはすべて、標準的なI/Oバスを介してモニタを接続していた。電気的には、マザーボードの内蔵ビデオ回路もI/Oバスを使って接続していた。しかし、I/Oバスを介した接続は、高解像度モニタとグラフィカルな操作環境が浸透するにつれて、次第に疑わしいものになっていった。

初期のパーソナルコンピュータでは、ほとんどのアプリケーションはキャラクタマップ画面で表示されていたため、I/Oバスでも特に問題にはならなかった。画面全体に情報を表示しても、1文字あたり2バイト(ASCIIコードで1バイト、色もしくは強調を指定する属性バイトで1バイトの計2バイト)の形でメモリに蓄えられた文字が、80桁×25行の文字列を構成するだけだった。画面全体にテキストデータを表示しても、4Kバイトにしかならない。オリジナルのPCバスを使用しても、伝送にはさして時間はかからない(実際の転送時間は、1バイト幅の4.77MHzのバスでも、500分の1秒以下であろう)。

グラフィックディスプレイの登場とともに、高速転送の必要性は劇的に増大した。標準的なVGAの16色のグラフィック画面は、約150Kバイトのデータで構成される。解像度1,024×768の24ビットフルカラー表示になると、画面表示に要するデータは2.3Mバイトに増える。システムにほかのオーバーヘッドがないとしても、PCバスを使って1画面分のデータを転送するためには、まるまる1秒かかる。実際には、システムのマイクロプロセッサを経由するので、転送にはさらに相当な時間がかかる。プロセッサは、メモリリフレッシュや複雑なバックグランド処理(タイマ割り込みなど)、あるいは画面に表示する画像データの領域を計算することなどにも、時間を割かなければならないからである。

Compaqは1987年、「Deskpro 386」で、初めてビデオ回路を16ビットのISAバスに接続させ、潜在的な転送速度を2倍にした。また、コプロセッサとバスマスタという2つのテクニックを採用して、ビデオの性能を改善した。コプロセッサは、画面の画像データを計算するというマイクロプロセッサの仕事をかなり軽減しただけでなく、ビットイメージを動かす場合を除いて、拡張バスを介してデータのブロック転送の必要性もなくした。ほとんどの画面表示処理は、コプロセッサが実行するコード化された命令の形で送られるようになった。描画命令を使うことによって、バスを経由して転送される情報を、1,000分の1に縮小できるようになった。

さらに、バスマスタにより、画像のデータを、システムのマイクロプロセッサの手を煩わすことなく転送できる。そのため、動作のオーバーヘッドがなくなり、転送速度は理論上の値にかなり近づいた。初めてバスマスタを使ったビデオシステムは、コプロセッサの技術も取り入れたIBMのXGAであった。

しかし、こういったアプローチには2つの弱点がある。1つは、デスクトップパブリッシングやマルチメディアアプリケーションの普及で、ますます一般的になってきたビットイメージの移動処理は、コプロセッサでは高速化できないことである。また、コプロセッサとXGAを使うには、これらを制御するための特別な操作が必要になるため、プログラムを書き直さなければならない。つまり、アプリケーションのほとんどは、そのままでは速さを生かすことはできないのである。

ローカルバスは、ビデオ接続のバス幅を広げ、速度もマイクロプロセッサの速度(33～66MHzが一般的)に近づけたことで、バスのボトルネックを打ち破った。広いバス幅と高速なクロックのおかげで、ローカルバスは理論上、4倍から8倍の高速化を実現した。

ローカルバスは、コプロセッサでは対応しきれないビデオ性能、つまり、ビットイメージの転送速度を高速化する。したがって、ローカルバスはビデオコプロセッサの技術に取って代わるものではなく、これをいっそう強化するものとみなすべきである。同様に、真のローカルバスの基本原理とは逆行するが、バスマスタはローカルバスの速

度をさらに速めることが可能である(実際、VLバスの設計には、特にXGAを利用するためにバスマスタが含まれている)。コプロセッサとバスマスタを備えたローカルバスは、今日あるビデオの速度をさらに大きく飛躍させるだろう。

ローカルバスの規格

製品として出回っているローカルバスは、専用のものか、あるいは後に掲げる3つの標準のうちのいずれかである。しかし、今後しばらくの間の製品は、業界の標準として支持を得ている「VLバス」に従うことになるだろう。各設計にはそれぞれ長所と短所があり、もちろん専用のシステムにも利点はある。

■専用設計

一番初期のローカルバスの製品は、専用ローカルバス設計のシステムを採用したもので、一般的にはマザーボードに組み込まれた専用ビデオ回路として搭載されていた。初期の専用設計を用いた製品の中にも、ビデオシステムを拡張ボードとして内蔵し、専用バスへ接続していたものもわずかながらあったが、そういった製品は、専用設計に足を引っ張られる結果となった。拡張オプションの選択の幅が、そのメーカーが供給するものに限られてしまったのである。ローカルバスのスロットがあっても、この専用バス設計によって、そのパーソナルコンピュータのメーカーが提供するわずかな種類の拡張ボードしか使えない。

しかし、ディスプレイの性能だけを追求するなら、専用のローカルバスでも十分にその目的は達せられるし、すぐに満足できるだろう。高速ローカルバス拡張を利用できなくても、コストの問題が解決され、パーソナルコンピュータ業界でローカルバスが当たり前になるまでは、すぐれたディスプレイの性能を味わうことができるだろう。

■OPTiバス

チップセットメーカーのOPTiは、「DXBB PC／ATチップセット」(同社の「82C496」システム／データコントローラと「82C206」統合ペリフェラルコントローラを組み合わせたもので、オプションとして「82C497」キャッシュコントローラを搭載できる)の付随技術として、ローカルバスを開発した。このチップセットのデータブックには、EISAコネクタに基づいて提案したローカルバスコネクタの仕様が記載されている(OPTiコネクタ内部にはストッパがあるため、OPTiスロットに標準のEISAボードを差し込むことはできない)。しかし同社は、この仕様の互換性を保証する努力を怠ったため、製造メーカーの中には別のコネクタを採用するところもあった(たとえばHauppauge Computer Worksは、OPTiの信号にマイクロチャネルコネクタを使用している)。

OPTiのチップセットは、ローカルバス本来の接続方法は完全に制御できるが、アービトレーションやバスマスタといった機能は備えていない。そのため、OPTi設計に準拠して拡張ボードを作ったほうが、標準のISAボードを作るよりもコストはかからない。また、必要な信号はすべてチップセットに備わっているので、マザーボードの設計はISAのものとほとんど変わらない。

82C497キャッシュコントローラによって、ローカルバスはマイクロプロセッサやマザーボードのほかの回路とは同期せずに動作できる。このおかげで、マイクロプロセッサのシステムボードクロックを変更せずに、より高速なシステムにアップグレードできるパーソナルコンピュータを作ることができる。その資料の中でOPTiは、ローカルバスは33MHzで操作させるべきであるとしているが、いくつかのメーカーはすでに、50MHz用のOPTiバス勧告に基づく周辺装置を設計している。

OPTiの設計は、通常の拡張スロットのコネクタに代わる、特別なローカルバスコネクタを想定している。この設計の場合、1～3本のローカルバススロットは、ローカルバスボードの専用スロットになる。

OPTiコネクタは、アドレスラインとデータラインのほかには、ほとんど信号ラインを備えておらず、割り込みやDMAやほかの制御機能は、すべてホストバスのものを利用する。そのため、複雑なセットアップ機能は必要ない。

■ VL バス

VESA (Video Electronics Standards Association) が開発した **VESA ローカルバス (VL バス)** は、アービトレーション機能を備えた高速な拡張バスで、最高 66MHz で動作する 32 ビットバスである。アービトレーション機能を備えているため、マイクロチャネルや EISA に似た制御回路を必要とするが、それゆえに、これらと同じような利点がある。マイクロプロセッサの干渉なしで、バスマスタ転送ができるのである。

VL バスの定義は、互換性のあるさまざまな構成を選べるようになっている。16 ビットと 32 ビットの 2 つの転送モード (タイプ A、タイプ B) により、ホストの速度を変えることができる。タイプ A の転送は、通常 33MHz 以下で動作するマイクロプロセッサで使用され、タイプ B は、40MHz から 66MHz のマイクロプロセッサで使用される。そのおもな違いは、課される待ち時間である。一般にタイプ A は 0 ウェイトで書き込み操作を完了し、1 ウェイトで読み出しを行うことができる。一方、タイプ B での転送には 3 ウェイト必要である。

Pentium (586) マイクロプロセッサでの使用も想定しており、将来的には 64 ビット幅への拡張が予想されている。VL バスに装着されている拡張ボードは、電源投入時の自己診断の間に、コード化された ID2、ID3、ID4 信号を使ってホストに動作可能な速度の最高値を示す。ローカルバスのデバイスは、ID0 と ID1 信号のコードから、どんな種類のマイクロプロセッサがホストコンピュータを制御しているのかを調べる。また、データ転送の幅を規定するために、**バイトイネーブル**バス信号 (BE0 から BE3) がある。

VL バス用の標準コネクタは、0.05 インチ間隔で 112 個の端子を持つマイクロチャネルコネクタである。仕様では、VL バスのコネクタは、ISA、EISA、MCA などの通常のスロットと一直線上で、0.5 インチ前方向に離れた位置にあることを前提としている。したがって、VL バスのスロットは、ローカルバスボードにも標準の拡張ボードにも使用することができる。VL バスボードが、ホストの通常のバスと接続するかしないかは、ボード設計者の選択にまかされている。ホストの I/O バスは割り込みの制御に使用されるのが一般的であるが、割り込み 9 への接続は VL バスコネクタを介して行われる。

VL バスは、バーストモードでのバスマスタ転送を可能にすることにより、転送のオーバーヘッドでホストのマイクロプロセッサに負担がかかるというハンデをなくしている。バスマスタを利用しているボードはすべて、VL バス仕様のマスタとして動作できなければならない。VL バスには「スレーブ」はないのだ。操作上は、バスマスタ転送の際には、1 つのボードがマスタを務め、もう一方は「ターゲット」を務めることになる。

VL バスの問題点は、規格が正式に合意されたのは 1992 年 6 月のことで、その日以前にも多くのローカルバスコンピュータが設計され、世に出ていることである。当然、これらの第一世代のローカルバスコンピュータのほとんどは、VL バスの規格には準拠していない。

■ PCI

PCI (Periferal Compornent Interconnect) バスは、もともと Intel により長期的視野に立って設計され、策定された、ペリフェラルバスである。現在では Intel を中心とした SIG (Special Interest Group) のメンバーにより標準化／普及化の作業が行われている。Revision1.0 は 1992 年 6 月に発表されたが、そのときは内部バスの正確が強く、コネクタ等の仕様も未定であった。その後 Revision2.0 が 1993 年 4 月に規定されて、ローカルバスの一つとして VL バスと並んで普及が促進されつつある状態である。もともと、VL バスがグラフィックスのスピード向上を目指して生まれたのに対し、PCI バスはプロセッサを含む周辺機器を、高速にアクセス可能にするためのペリフェラルバスとして生まれた。

VL バス規格が、チップセットのエンジニアにより、当面の解決策として生まれたのに対して、PCI バスは、インテルのアーキテクトグループにより、長期的な使用に十分耐えられるように規格化された、VL バスよりも比較的仕様の重いバスである。VL バスとの互換性はないが、同様の機能を備え、さらに強化されたバスマスタやアービ

トレーション機能を有する。

Intelにより規格化されたものの、PCIバスはプロセッサを特定していないため、x86以外のCPUとの接続も可能である。通常は、CPUとPCIバスの間にはブリッジ回路が入るため、CPUを特定する必要がない。このため、多くのコンピュータメーカからの賛同を得られている。DECやAppleでは、RISCチップそのものにPCIインターフェイスを取り込むことや、RISCシステムに採用することを表明している。

PCIは、多重化された32ビットバスで、最速時には1クロック1転送のタイミングになる(64ビット転送もすでに定義されている)。したがって32MHzのバスクロックで、132Mバイト/秒を実現している。これは一見、VLバスの転送スペックである264Mバイト/秒(66MHzの場合)よりも遅く見えるが、VLバスでの実際のインプリメンテーションは、33MHzが事実上の最高スピードであり、遜色はない。またPCIバスは、CPU－メモリ間の転送と、PCIバスデバイスの転送を並列に行うことが可能なため、事実上VLバスよりも優れていることになる。

さらに信号を多重化したおかげで、有効信号本数は47本ですんでいる。信号線が少ないことによって、ボード上の面積も減少でき、チップでインターフェイスを実現する際もチップのピン数が減るので、コスト削減に寄与できる。

またPCIバスにはターミネータがなく、信号の伝送に進行波と反射波の双方を利用して行われる。すなわち、合成波により信号の伝達が行われる。この手法により、弱いドライブ能力でも信号が伝達でき、消費電力も減らすことが可能になっている。不要輻射の対策としても有効である。ただこのため、反射波の影響までを考慮してボードの設計をする必要がある。

PCIバスは、スペック上では明らかにVLバスに勝っているものの、CPUに依存しないぶん、CPUとPCIの間にはブリッジ回路を必要とし、これがVLバスに対して普及が遅れている理由の1つとなっている。VLバスは「486バス」とも呼ばれているように、信号の本数は多いものの、486バスに対してインプリメントすることは比較的容易であるのに対し、PCIバス用のブリッジ回路は、これをCPUに取り込まないかぎり、構成するチップの数の点でもVLバスに対して不利な状況にある。

PCIバスはその仕様の重さにより、実装するためにはコストアップが避けられないと考えられた。そのため、最初はデスクトップ用と認識されており、ハイエンドのデスクトップマシンから導入されていくと思われているが、この認識も次第に変わっていくことになるだろう。CPUに直接このインターフェイスを取り込むことにより、少々様子が変わることが予想され、ノートブックなどにもPCIバスが採用される可能性がある。すでにTIからはPCIバスのインターフェイスを取り込んだx86の製品がアナウンスされており、その行方が気になるところである。

6.7 PCカード

ラップトップパソコンやノートパソコンは、拡張のオプションがないことが欠点として挙げられるが、これはハードウェアが標準の拡張ボードを装着するにはあまりに小さいというだけのことであり、バスについては何の問題もない。さらに、一般的なデスクトップコンピュータの拡張ボードの消費電力は5Wに近いが、これはノートパソコンの機能のすべてが必要とする量にほぼ等しい。一方これに対して、小型の携帯用パーソナルコンピュータの間にも、機能拡張の標準が誕生しつつある。**PCカード**である。

PCカードは、RAMの容量を拡大するために、ラップトップパソコンやノートパソコンに差し込まれていたメモリカードから派生したものである。

しかし、PCカードの仕様は、メモリのほかに、モデム、ハードディスク、ネットワークアダプタなど、フルサイズのパーソナルコンピュータの拡張スロットに差し込まれるようなものであれば、何にでも対応できるように設計されている。

PCカードの標準規格は、1989年に設立された**米国ICカード推進協会**(PCMCIA)という、220社を超えるメンバーによる国際委員会によって制定されている。差し込み式の拡張メモリカード(1985年に今日の形式で最初に紹介された)を使う利点が次第に明らかになる一方、その設計の多様さがもはや容認できないところへきて、標準が設定されることになったのである。最初のPCカード(Release 1.0)は1990年9月に発表された。

寸法

PCカードの出発点は、ICカードにならった68ピンソケットを備えたものであった。ICカードは、最初に日本電子工業開発協会(JEIDA)が定めたものである。PCカードの初期バージョン(現在はType Iと呼ばれる)は、サイズとコネクタはICカードと同じであったが、標準規格が設定されたことが重要である。PCカードは、大きさ2.126×3.37インチ、厚さが3.3mmであった。より厚い部品を使用できるようにするために、Type IIが1991年9月に「Release 2.0」として発表された。Type IIのPCカードは、厚さ5.0mmと厚くなっただけで、ほかはType Iと同じ寸法である。より厚くなったことで、セラミックパッケージに入ったEEPROMチップを、内部に組み入れることが可能になった。さらに進んだ規格であるType IIIは、厚さ10.5mmとなっている。3種類すべてのカードは、そのガイドレールに沿った部分は3.3ミリと同じ厚さなので、薄いカードも新しい厚いスロットで使える。Release 2.0では、Type IとType IIのどちらのカードも、拡張した形状の中に搭載可能である。このように、PCカードは拡張が可能なのである。

電気的接続

PCカードはすべて、同じ68ピンコネクタを使用する。8ビットないし16ビットのデータバスを持ち、カードの最大64Mバイトのメモリをアドレス指定できるパーソナルコンピュータと接続することができる。動作に必要な電力は5Vまたは3.3Vである。

PCカードは、メモリだけでなく、フルサイズコンピュータの拡張バスと同様、コントロール信号と割り込み信号を持つ入出力インターフェイスの標準規格も定義している。また、PCMCIAは将来のPCカードのために、32ビットのバスマスタ標準にも取り組んでいる。

機能

PCカード規格は、PCカードのROMもしくはフラッシュRAMに含まれているプログラムコードを、あらかじめRAMに複写することなく実行する**直接実行**と呼ばれる機能に対応している。PCカード用のデバイスドライバを、**ソケットサービス**と呼ばれる共通の標準に沿って書けるように、共通のBIOSインターフェイスが定義されている。また、仕様には**タプル**と呼ばれるソフトウェアのヘッダが定義されており、これによってPCカードスロットに装着されているカードのタイプ(電気的特性と論理的性能)を識別することができる。タプルをチェックすれば、たとえば、PCカードの中にフォーマットしてはいけないハードディスクが含まれている、といったようなことが、パーソナルコンピュータ側から何度も警告されなくてもわかるわけだ。

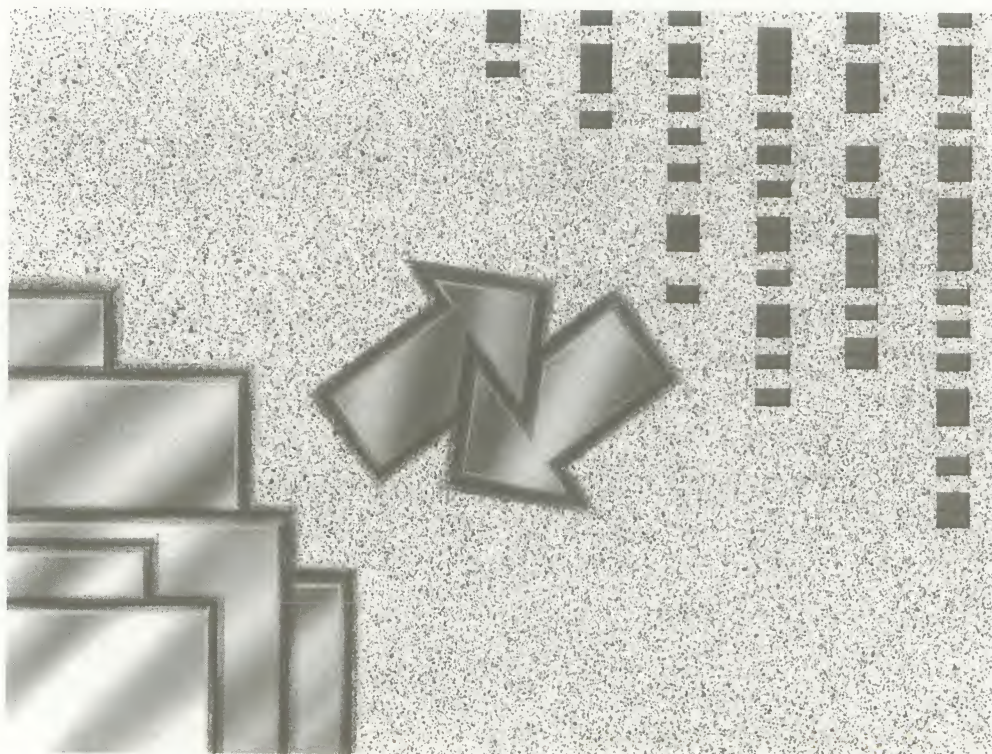
PCカードは、電源を入れた状態でも差し込むことができるように設計されている(hot insertion)点で、古いメモリボードとは異なっている。ノートパソコンやラップトップパソコンへのメモリボードの取り付けは、通常は電源を切って行なわれていた。これに対しPCカードは、拡張ボードというより、ゲーム機のカートリッジのようなもので、電源を入れたままで装着できる。したがって、ハードディスクは取り外しが可能になり、ホストをリブートしなくても、1つのスロットを様々な用途に使用することができる。また、周辺機器だけでなく、プログラムもPCカードに組み込むことができ、このようなプログラムカードは、初期設定やテンプレートやデータを記憶するための自分専

用の不揮発性メモリを備えることもできる。

PCカードシステムは、カード内に実装されているのが、ディスクドライブなのか、RAM、ROM、フラッシュメモリなのかどうかに関わらず、フロッピーディスク用のFATシステムを利用できるように設計されている。このため、ソフトウェア開発者にとってPCカードで動作するコードをつくるのは比較的容易である。

注目すべき点は、PCカードの設計は、ISA(PCカードの基になった)、EISA、マイクロチャネルを含むほかのバス規格とも共存できる。これはつまり、PCカードはパーソナルコンピュータの機能を向上させるために、ポータブルマシンだけでなく、フルサイズのパーソナルコンピュータでも使用できるということである。デスクトップパソコンがPCカードスロットさえ備えていれば、1枚のカードで何でもできるのだ。

第7章

BIOS

すべてのパーソナルコンピュータは、みずからの個性をBIOS（Basic Input／Output System）と呼ばれる、内蔵されたソフトウェアルーチンのセットから与えられている。多くの場合、BIOSは32Kバイト以下のコードから成っているが、このように少ない容量ながらも、パーソナルコンピュータの最も重要な機能、たとえば、キー入力の認識の仕組み、キャラクタをスクリーンに表示する仕組み、ポートを介して行う通信の仕組みなどを制御している。また、BIOSによってコンピュータの互換性や使用上の適応性も決まる。ただし、すべてのBIOSはその果たす機能は同じでも、まったく同じものというわけではない。

ちょうど、人獣混血のミノタウロスが底知れない迷宮を支配していたように、パーソナルコンピュータが内に秘める神秘性と迷路は、BIOSというソフトウェアと、ハードウェアとの奇妙な交配によって司どられている。

しかし、BIOSの役割は、単に迷宮の番人というだけではない。BIOSは、パーソナルコンピュータとその回路から成るハードウェアという物質世界を、超自然的な領域であるソフトウェアの観念と命令に結び付ける、半神半人としての役割も持っている。つまりBIOSは、両者を連結する存在というよりは、むしろ、ハードウェアでありかつソフトウェアでもあるという中間的な存在なのである。

BIOSは、マイクロプロセッサが実行するインストラクションの列である点では、ソフトウェアと同じだが、ソフトウェアのように、一時的に存在した後は消えてしまうものではなく、PROMチップのシリコンというハードウェアの中にコード化され、パーソナルコンピュータの中につねに存在している、特殊なインストラクションである。BIOSのようなプログラムは、ハードウェアとソフトウェアのどちらともいえない状態で、これら2つの間に挟まれるもうひとつの世界に存在している。このため、このようなPROMベースのプログラムは、しばしば**ファームウェア**と呼ばれている。

IBMやその互換機のBIOSは、特殊なファームウェアであり、コンピュータにテストを実施するルーチンと、コンピュータに独自の個性を与え、ほかのプログラムとシステムの電子回路の歯車が、よりスムースに噛み合うように手助けする。さらに、（これはIBMのコンピュータの場合のみだが）ほかのソフトウェアがなくても（あるいはディスクドライブさえなくても）コンピュータを使用可能にするプログラミング言語を備える場合もある。

コンピュータの個性は、ファームウェアのコードによって形成される。このコードによって、コンピュータを動作させるのに必要な基本機能の実行方法、つまり、いかに速くいかにスムースに、その機能を実行するかということが決められる。また、多くのパーソナルコンピュータにおいて、このファームウェアは、システムボードの構成部品の相互作用の方法や、使用するチップセットの機能、そして、マイクロプロセッサがメモリの内容を保持するのに割り当てる時間の総量さえも制御している。最近のパーソナルコンピュータのほとんどでは、セットアップの手続きもBIOSの中で行われる。

コンピュータのスイッチが入れられると、すぐにBIOSは処理を開始する。BIOSの最初の仕事は、ユーザーがデータのすべてをコンピュータに預けてしまう前に、一連の診断ルーチン（システム機能テスト）を実行して、パーソナルコンピュータのハードウェアの全部分が正しく機能していることを確認することである。BIOSは、システムボードとメモリ回路、

キーボード、ディスク、それぞれの拡張ボードを順にチェックしていき、問題を見つけるとモニタの画面にコード番号を表示して、使用者にそれを通知する。また、モニタにコード番号を表示する機能に問題がある場合は、コード化された一連のビープ音を発して警告を行う。

コンピュータがいったん動作し始めると、もはやBIOSの休む暇はない。画面やプリンタへキャラクタをタイプしたり、キーストロークを読んだり、時間を測るといったルーチンワークは、プログラムがこのファームウェアに含まれている何組ものルーチンを呼び出して実行する。このBIOSという基礎ライブラリがパーソナルコンピュータにあるおかげで、プログラマはシステムの細部を気にすることなく、総括的な設計を行うことができるのである。

BASICは、プログラミング言語の中で最も共通性の低い標準であり、さらにIBM BIOSのカセットBASICは、そのBASIC言語の中でもさらに共通性が低い標準である。このようにカセットBASICの悪口を言うのは簡単だが、少しでも利用価値があるのならば、その言語は存在意義がある。カセットBASICがあれば、使用者がシステムディスクなしでブートアップしても、"Non-system disk or disk error"のようなメッセージと共に使用者に向かって「電子の舌」を突き出すようなことはせずに、計算問題に素早く回答したり、簡単なプログラムを走らせたりする。（ロードおよびセーブ用のディスク装置なしで、複雑なプログラムを試そうと思うユーザーは、まずいないことを考えれば）ほとんどの人にBASICは必要ないし、わざわざこれを見てみたいと思う人もいないだろう。しかし、それでも万一の場合に備えて、BASICはパーソナルコンピュータの中に存在しているのである。

BIOSのコードは、すべて1つのシリコンチップの中に含まれているが、いくつかに分れた各部分はそれぞれ個別に動作する。BIOSは小さな**常駐プログラム**のセットのように、常時メモリに存在し、ユーザーの指図どおりに動作する。ユーザーはこれを取り外すことはできないので、メモリから消えることはない。

7.1　BIOSの目的

いかなるコンピュータの設計でも、ハードウェア要素の多くは、I/Oポートの範囲内の特定のアドレスに位置している必要がある。コンピュータのほかの構成部品は、自分の制御に使われる専用のレジスタを持っている。どんなコンピュータでも、内部には独立した部品が複数存在しているため、考えられる組み合わせの数は無限である。ソフトウェアは、このハードウェアのいずれかを制御しようと思ったら、これらのレジスタを正しく選択しなければならない。この場合、すべてのコンピュータが完全に同じに作られているかぎり、つまり、同じハードウェアに対して、同じポートや同じレジスタが使われているのならば、問題はまったくないはずである。

しかしながらIBMは、最初のPCではハードウェアを自由に変更できる余地を残しておいた。PCと、その後に登場するマシンとが、同じポートやレジスタを持っていることを保証しなかったのである。IBMが思い描いた秩序ある世界では、プログラムはハードウェアに直接アドレスする必要はまったくなく、代わりに、BIOSの中に組み込まれたソフトウェアルーチンを呼び出せばよい。新しいコンピュータが違ったハードウェア構成になっていても、使用するBIOSルーチンは古いBIOSルーチンと同じように動作し、アプリケーションソフトウェアが使用する場合でも、古いものとは区別がつかないのである（ルーチン内部のアドレスは、新しいハードウェアに合わせて変更する必要はあるが）。このように、BIOSの存在によって、広範な種類のハードウェア設計でも、同一のソフトウェアが走り、設計者とメーカーは、必要に応じて、システムのハードウェア全体を自由にアップグレードできるのである。

7.2　BIOSの欠点

BIOSルーチンに関する問題は、ルーチンの数が有限であるために（少なくとも妥当な数ではない）、すべての状況とソフトウェアの必要性を、最適な形でカバーできない可能性があるということである。BIOSルーチンを使用すると、たしかに便利なことがある反面、多くの場合同時に問題も伴う。とくに問題なのは、BIOSを使うことによって、多くの機能の速度が低下してしまうことである。この性能の問題は、ビデオのディスプレイで最も顕著に現われる。たとえば、IBMのBIOSルーチンはすべて、ビデオディスプレイに情報を表示する場合、一度に1個ずつキャラクタを表示するように設計されている。これに対し、ハードウェアを直接操作すれば、テキストを一気に転送して、もっと高速に表示することができる。

BIOSルーチンの使用には、かなりの手間がかかる。キャラクタの属性（色、アンダーラインなど）を画面に表示するにあたって、ソフトウェアはまず最初に、表示させたいキャラクタと、場合によってはその画面上の位置までを特定のレジスタにロードし、つぎに、BIOSに制御権を与えるために、ソフトウェア割り込みを発行しなければならない。制御権を与えられたBIOSは、十数個のアセンブリ言語のインストラクションを実行して、画面上へキャラクタを移動させるのだ。

一方、BIOSを無視して、直接コントロールを行う場合は、ビデオカードのディスプレイメモリに直接に書き込みを行う。アセンブリ言語のワンステップで、適切なアドレスをロードし、必要なバイト値をそのアドレスに移動するだけで、プログラムは画面に直接に書き込みができる。このように、ひとつひとつのキャラクタを書き込む際に、

数十のステップが節約されることによって、実際の性能が向上し、見た目にも、ゆっくりスクロールダウンしていた画面が瞬時に更新されるようになる。

これ以外にも、BIOSがシステムの全動作を取り扱うことによって、BIOSがサポートしていないことは何もできないという制約が、コンピュータに課されてしまう。たとえば、標準モードの動作の場合は、BIOSルーチンが適切に機能し、これによってディスクの読み書きや、IBMの標準ディスクフォーマットを使ったフォーマットが可能になっているが、同時に、ドライブが行うことができる範囲が制限される。BIOSによって制御されているために、ドライブはIBMから正式に認められた製品と同じようにしか機能できない。しかし、実際のディスクドライブは、BIOSが規定している以上に多目的なもので、本来ならば、ほかのコンピュータシステムに使用されるディスクフォーマットや、ディスクをコピープロテクトするために使用される、特殊なフォーマットも読み書きできる。ディスクドライブの能力を、IBMによって公式に認可された能力を超えて利用するには、これに制限を課しているBIOSを回避しなければならない。

7.3 ハードウェアの直接制御

ハードウェアに直接にアドレスするプログラムを使ってBIOSを迂回するのは、それがIBMの希望によって禁じられているとはいえ、別段難しいことではない。実際には、かなり多くのソフトウェアの設計者が、勝手にハードウェアの直接制御を行ってきたため、パーソナルコンピュータのハードウェア機能の多くは、BIOSよりもずっと厳密に標準化されている。この最も顕著な例が、ディスプレイメモリの配置である。ディスプレイメモリへの直接の書き込みが、こういう形で一般的になったため、IBMは自らの敗北を認め、ディスプレイメモリに使用されるアドレスについては、最大限の努力を払って現状を維持するつもりであると言明するにいたった。シリアルポートもまた、BIOSの制御を超えて発達してきたもののひとつである。9,600bps(機種によっては19,200bps)以上の速度でシリアルポートを使うプログラムは、いずれもBIOSのシリアルコミュニケーションルーチンを使用してはならない。

さらに、PCのハードウェアの規格は、BIOSが設定する以上に厳密な規格だといえる。ほとんどの互換機は、PCのハードウェアを正確に模倣しているが、その互換機に使用するBIOSは、著作権の問題からオリジナルとは違っていなければならない。実際にハードウェアは、BIOSのファームウェアよりも(多くの点で)規格化されている。ビデオディスプレイが使用するハードウェアのメモリロケーションを、できる限りサポートすることを是認した時点で、BIOSのみで行うには制約が存在するという問題点を、IBM自身が事実上認めたのである。

とはいえ、プログラマにとってBIOSの使用には利点があるのも事実である。BIOSルーチンを使用すると、プログラムを簡素化できることが多い。ある種のシステム動作は、ソフトウェアによって、簡単にアクセスできるようになる。これらのルーチンは、適度に文書化され、かつ十分理解されているので、プログラマは心配なく使用することができる。

7.4　BIOSの互換性

互換機メーカーの最終目標は、自社のマシンに使用されているBIOSを、ATのBIOSと完全に同じにすることである。最も新しく最も高性能なコンピュータであっても、古いATが行っていることはすべて模倣しなければならない。すべてのプログラムは、PCに対して、最低限ATと同じだけの機能があることを前提としている。

いかに互換機が素晴らしくても、互換機は完全に本物にはなりえない。IBMに使用されたコードは、ほかの者が勝手に複写することを合法的に禁じた著作権によって守られ、互換機メーカーは、IBMのBIOSを複写せずに、自社独自のBIOSルーチンを書くように義務付けられている。

著作権法が他人の著作物の複写を禁じているため、互換BIOSは「クリーン」に書かれる。つまり、プログラマは（IBMのBIOSの）ソースコードを見たり、ソースコードに含まれるルーチンについて、いかなる知識も持つことは許されない。代わりにプログラマは、インストラクションのリストと、それぞれのインストラクションが与えられたときに、BIOSが実行する機能のリストをもとにしてBIOSを書く。要するに、プログラマは模造の対象になるBIOSを、入力を受け取り出力を与えるブラックボックスとみなし、必要な結果をもたらすインストラクションを推論するのである。

しかし、このようにしてBIOSを書くのは時間も費用もかかる。BIOSの作成を全部自社で行えるようなリソースを持つコンピュータメーカーはほとんどない。このため、大多数の互換機メーカーは、American Megatrends Inc.（AMI）やAward Software、Phoenix Technologies Ltd.、Mr.BIOSといったBIOSメーカーから、必要なBIOSのファームウェアを購入している。この手段をとれば、著作権の侵害を心配せずに、確実に動作するBIOSを手に入れることができるわけだ。

量産するPCへのインストールを目的に、BIOSのファームウェアを大量に購入すると、互換BIOSの使用権はかなり割安になり、場合によっては1コピーあたりたった数ドル程度になる。これに対し、個人が自分のコンピュータ用に1個ずつBIOSを買うとなると、使用権はたいへん高価なものになってしまう。これは、大量購入によって可能になるコストダウンの恩恵を受けることができないためだ。さらにコンピュータメーカーは、多くの場合BIOSのコードをディスクかテープで購入し、必要な分だけ（対価を払って）コピーを作っているのに対し、個人だとコードを書き込むPROMチップも買わなければならない。したがって、BIOSのコピーを1個単位で購入すると、どういう形態で誰から買うのかによるが、20〜50ドル程度の費用がかかる。

BIOSベンダーは、自社の製品をそれぞれ個別に開発しなければならないため、各社の製品が使用するコードは、厳密には異なっている。このため、各BIOSはIBM XT標準との互換性の点で違いが生じる。

各BIOSの最大の相違点の1つは、エントリポイントである。各BIOSの様々なコードルーチンは、PCのメモリマップの中のBIOS機能に割り当てられたアドレスから開始し、終了する。各ルーチンの開始アドレスは、そのルーチンの**エントリポイント**と呼ばれる。アプリケーションの中には、いくつかのエントリポイントがBIOSの特定の物理アドレスにあることを前提に作られているものがある。システムのハードウェアにダイレクトに書き込みを行うのと同様に、これらの特定のアドレスを呼び出すプログラムは、コンピュータの性能を最大限に生かそうとしている。BIOSのエントリポイントが、プログラムが予想したものと異なる場合は、システムクラッシュという結果も生じうるのだ。

IBMは、自社のすべてのBIOSについては、同一のエントリポイントを維持しており、多くの互換BIOSも、まったく同じアドレスを使用している。ただし、わずかながらそうでないBIOSもある。一般には、異なるエントリポイントを持つこ

れらのBIOSは、コンピュータの設計者の必要に合わせて、様々な組み合わせができるプログラミングモジュールとして書かれてきた。これらの「モジュラーBIOS」は柔軟性を増した分、互換性を失っている。

しかしながら、システムのハードウェアに直接アクセスするプログラムとは異なり、特定のBIOSエントリポイントを必要とするプログラムはまれにしか存在しない。互換機やモジュラーBIOSが一般的になれば、このようなプログラムは、当然さらに少なくなるだろう。最近のソフトウェアは、エントリポイントを同じにしなければ実現できないような互換性からは、離れようとしている。

BIOSの互換性についてはこれ以外にも、BIOSを交換しようとした場合、実装するコンピュータ側との互換性の問題がある。両者の互換性を保証することは、けっして単純な話ではない。すべてのBIOSは、それぞれ特定のハードウェア専用に作られているからである。BIOSの仕事のひとつは、設計の異なるハードウェアを統合することで、すべてのソフトウェアを交換して動かせるようにすることである。このため、すべてのBIOSは、その制御するコンピュータに合わせてカスタマイズされており、マザーボードメーカーも、目的に応じてBIOSを変更して使っている。すべてのコンピュータできちんと動作する包括的なBIOSというものは存在しないのだ。したがって、何らかの理由で自分のBIOSを変更もしくはアップグレードしたい場合は、自分のコンピュータの正確な型式に合ったBIOSを入手する必要がある。

7.5 BIOSの性能

パーソナルコンピュータのBIOSは、BIOSコードの効率と、システムのリソースすべてに及ぶBIOSの制御という2つの面で、システムの性能に影響を及ぼしている。要するに、良いBIOSは、コンピュータの性能を向上させることができるのだ。

本来BIOSルーチンは、その内容を明確に知られることはない(関心も持たれない)ため、プログラムにとってはブラックボックスのようなものだが、BIOSルーチンのアセンブリ言語のインストラクションは、実際にはBIOSによってかなり異なっている。BIOSによって、一定の機能に対するインストラクションの数に差があるのだ。インストラクションの数が少ないということは、プログラムがBIOSルーチンを呼び出すたびに実行されるステップが少ないということであり、そのステップが使用するクロックサイクルも少なくて済む。したがって、一定の機能を実行するためのインストラクションの数が最も少ないBIOSが、最も効率が良いといえる。そして、BIOSの効率が良ければ、結果としてシステムはより高速に走るのである。

もちろんこの差は、プログラムがBIOSルーチンを使用するときにしか現われない。高性能なプログラムは、ほとんどがBIOSを回避して直接ハードウェアを制御しているため、BIOSの善し悪しは、高速に動作するプログラムの多くには関係がない。大抵のソフトウェアにとっては、BIOS効率の差はとりたてて気にするほどのものではないのだ。

これよりも、BIOSが、ホストコンピュータを初期化する方法によって生じる性能の差の方が重要である。BIOSの中には、マイクロプロセッサのローカルバスと入出力チャネルの間の関係を最適化するにあたって、うまく機能しているものがある。最近のほとんどのチップセットに関していえば、両者間の関係は完全にプログラマブルになっている。さらに、ほとんどのチップセットでは、たとえば、メモリのインターリーブ機能の切り換えや、キャッシュの最適化など、様々な機能が搭載されており、これによってシステムの性能を向上させることが可能になっている。これに対し、

簡単なBIOSでもPCを機能させることはできるが、これらの優れた機能を最適化しないため、PCに組み込まれた高い潜在能力を殺してしまうことになる。より優れたBIOSになると、使用できるすべての機能に対して、最適な状態になるように自動的に設定を行う。高度なセットアップ手順を踏めば、BIOSによってこれらの重要なシステムのパラメータを自由に変更することが可能なので、より最適な設定も可能になるだろう。

残念ながら、BIOSがどの程度うまく動作しているかは、コンピュータの動作からしかわからない。アプリケーションを走らせてみて、システムの動きや速度から判断するのが唯一の方法である。BIOSの効果による性能の差を見極めることは、ほとんど不可能だが(同じシステムボードでBIOSだけ違うようなコンピュータはほとんどない)、少なくとも与えられたシステムが、ユーザーを満足させる程高速に動作するかどうかは分かる。

7.6 PC BIOSの基本

IBM BIOSは最初のPCと共に登場した。IBM BIOSは、その時点ではおそらく、世界中で最も多く出荷されたソフトウェアルーチンということになるだろう。「PC BIOS」は、その後のIBM BIOSに使用されているすべてのエントリポイントを配置し、ほとんどの互換BIOSもそれにならった。またPC BIOSは、すべてのBIOSに必要な、また必要となるであろう機能を明確にし、BIOSの動作の仕組みを確立した。現在すべてのパーソナルコンピュータに必要不可欠な「AT BIOS」は、パーソナルコンピュータの基本的な設計を損なうことなく、わずかながらも性能を向上させた。IBM PCとAT BIOSは、BIOSの動作の仕組みを理解するための出発点である。

BIOSの動作

IBM BIOSは、**ソフトウェア割り込み**のシステムによって動作するように設計されている。ルーチンを起動するために、プログラムはそれに該当する割り込み、すなわち、マイクロプロセッサに対する特殊なインストラクションを発行する。**表7-1**は、BIOSの割り込みとその機能をまとめたものである。

ソフトウェア割り込みによって、マイクロプロセッサは現在実行中の処理を中止して、別のルーチンを実行する。実際にこの過程では次の動作が行われる。マイクロプロセッサは、処理中のコードの実行を中断すると、その番地をセーブし、メモリの一部に格納されている**割り込みベクタ**のリストを検索する。割り込みベクタは、その割り込みに対応したコードがある位置を、マイクロプロセッサに通知するポインタである。マイクロプロセッサは、ベクタの値を読んで、そのベクタに格納された値のアドレスに置かれたコードを実行し始める。

割り込みベクタの表は、マイクロプロセッサのメモリのスタート地点でもある00000h番地から始まっている。ベクタはいずれも4バイト構成で、番号順に格納されている。コンピュータのブートアップ時に、各ベクタの初期値は、BIOSが格納されているROMからRAMへロードされる。これらのベクタをプログラムで書き換えることにより、ソフトウェア割り込みの意味を変更することができる。**常駐プログラム**(TSR:「SideKick」のようなポップアッププログラムや、「Pro－Key」のようなバックグラウンドプログラムなど)はこの種のプログラムの典型的な例で、自分自身の目的に合わせて割り込みベクタの変更を行う。

表7-1 BIOSの割り込みと機能

割り込み	機能
00h	0による割り算
01h	シングルステップ
02h	マスク不可割り込み
03h	ブレイクポイント
04h	オーバーフロー
05h	画面印刷
06h	(予約)
07h	(予約)
08h	システムタイマ
09h	キーボード
0Ah	(予約)
0Bh	(予約)
0Ch	(予約)
0Dh	(予約)
0Eh	フロッピーディスク
0Fh	(予約)
10h	ビデオ
11h	装置決定
12h	メモリサイズ決定
13h	フロッピーディスク
14h	非同期通信
15h	システムサービス
16h	キーボード
17h	プリンタ
19h	ブートストラップローダ
1Ah	システムタイマとリアルタイムクロックサービス
1Bh	キーボードブレーク
1Ch	ユーザータイマチェック
1Dh	ビデオパラメータ
1Eh	フロッピーディスクパラメータ
1Fh	ビデオグラフィックスキャラクタ
20h～3Fh	DOS用に予約済み
40h	フロッピーディスクリベクタ
41h	ハードディスクパラメータ
42h	(予約)
43h	(予約)
44h	(予約)
45h	(予約)

割り込み	機能
46h	ハードディスクパラメータ
47h	(予約)
48h	(予約)
49h	(予約)
4Ah	ユーザーアラーム
4Bh～5Fh	(予約)
60h～67h	ユーザープログラム割り込み用に予約済み
68h～6Fh	(予約)
70h	リアルタイムクロック割り込み
71h～74h	(予約)
75h	マスク不可割り込みへリダイレクト
76h～7Fh	(予約)
80h～85h	BASIC用に予約済み
86h～F0h	BASIC実行時のBASIC割り込みで使用
F1h～FFh	ユーザープログラム割り込み用に予約済み

使用できる割り込みの数は、BIOSのすべての機能を満たすのには十分でないため、多くの割り込みは、複数の異なる機能を担当するようになっている。これらの機能は**パラメータの受け渡し**によって区別される。情報はパラメータ(ソフトウェア割り込みの発行時に、1個以上のレジスタに保持されている値)としてBIOSルーチンに引き渡される。そして、BIOSルーチンが実行の結果を得ると、その結果は呼び出したプログラムに戻される。

拡張性

IBM BIOSは**拡張可能BIOS**なので、広範な汎用性がある。BIOSの全範囲は、ファームウェアが入っている1個のPROMチップの中で永久に決まってしまうわけではない。IBM BIOSは、この1個の集積体の中に、新たなコードを自分のものとして追加することができる。つまりここでいう拡張性とは、BIOS PROMを交換することによって実現されるのではなく、増加分のBIOSルーチンを含んだ新たなPROMチップを、コンピュータに追加できるということを意味している。IBM BIOSはこのようにして新しいルーチンを組み込んでいる。

IBM BIOSと互換BIOSはいずれも拡張可能だが、例外もある。ごく初期のPCに搭載されているBIOSがそれで、64Kバイトのメモリしかシステムボードにインストールできないため、拡張不能であった。このマシンのほとんどはすでに姿を消しているが、このような機種では、BIOSの更新は、ROMの交換という方法で行うのが普通だった。

IBM BIOSを拡張可能にしているのは、特別なファームウェアルーチンである。BIOSはこのルーチンを使って「アドインコード」を捜す。ブートアップ時にBIOSコードは、アドインボード上のコードの記憶用に予約されたアドレス範囲を検索する。もし有効なコードの一部が見つかったら、BIOSはそれらのインストラクションをBIOSのレパートリーに加える。たとえば、新しい割り込みルーチンを追加することもできるし、現行ルーチンの機能を変更することもできるわけだ。

BIOSを拡張するルーチンは次のように動作する。パワーオンセルフテスト(POST)中、割り込みベクタがRAMにロードされると、常駐のIBM BIOSコードはコンピュータに命令して、アドイ

ン BIOS ルーチンの始まりを示す特別な**プリアンブルバイト**がないかどうか、ROM メモリをチェックさせる。BIOS は、絶対アドレス 0F4000h から 0C8000h の領域の中から、これらのプリアンブルバイトを捜す。

特別なプリアンブルバイトを発見すると、BIOS は、512 バイトのブロックの指定された数について、巡回冗長検査 (CRC) を実行して、コードの次のセクションが BIOS の正当な拡張部分であることを検証する。このブロックの各バイトの値は、0100h を法とした剰余加算を使用して合計される。その結果は 4,096 で全バイトの合計を割った結果と同じになる。余りがゼロの場合は、拡張 BIOS に有効なコードが含まれているということを示している。

プリアンブルバイトは 2 バイトから成り、拡張コードのセクションの始まりを表わしている。最初のバイトは 055h で 2 番目のバイトは 0AAh である。この 2 バイトの後ろに続く 3 番目のバイトは、追加 BIOS の長さを表わしたものである。数は追加コードを保持するのに必要な 512 バイト長のブロックの総数を表わしている。

有効なコードの範囲が確認されると、システム制御 (BIOS プログラムの実行) は拡張 BIOS の 4 番目のバイトまでジャンプして、機械語で記されたすべての機能を実行する。これらのインストラクションの典型的な役割は、BIOS に特別なコードのインストールの方法を教えることである。拡張 BIOS のインストラクションが完了すると、制御は常駐 BIOS に戻り、BIOS を拡張するルーチンの動作を終了する。その後も、システムは拡張 BIOS の追加ブロックを捜し続け、絶対アドレスの 0F4000h にまで達してその検索が完了すると、システムはディスクからブートアップを開始する。

この追加の BIOS コードが含まれている ROM チップは、必ずしもシステムボード上になくてもよい。使用するメモリロケーションは、拡張バス上でアクセスすることもできるため、BIOS に追加される新しい ROM チップは、拡張ボードのひとつとしてコンピュータに搭載されることもある。拡張用のアクセサリを制御するのに必要なコードは、システムがブートするときに自動的にロードされる。このアドオンコードのセクションは、アドレスの範囲の許す限り、どのコンピュータにも適合する。ひとつ面倒なのは、2 つ以上のコードのセクションが、同じメモリエリアを占有することができないということである。このため、PC シリーズ用の拡張ボードはほとんど、ジャンパスイッチもしくは DIP スイッチがあり、これを使って BIOS の拡張部分が使用するアドレスを割り当てなおすし、衝突を回避できるようになっている。アドレスの再割り当ては、拡張ボードの誤動作を防ぐために必要なセットアップ作業のひとつである。

日付の調べ方

ほとんどすべての BIOS には著作権の表示が含まれており、使用者は使用する BIOS の製作者が誰であるかわかる (もっとはっきりいえば、著作権の表示を BIOS の中に書き込むことによって、BIOS メーカーは自社の BIOS が勝手にコピーされないようにしているのである)。また、いつコードが更新されたか確認できるように、ほとんどの BIOS には最新の改訂日付も含まれている。

この BIOS の日付は、有効な判断基準として使用できる。パーソナルコンピュータが能力を拡張するに伴い、BIOS は新しい動作を可能にするために修正されるが、そうなると、古い BIOS は新しい周辺装置では機能しない場合が出てくる。最近では、AMI の初期の BIOS が、AT インターフェイスのハードディスク装置で正しく動作しなかったという例がある。1990 年 4 月にはこの問題は修正されたが、多くのコンピュータが古いコードの BIOS を搭載したままになっている。この場合、BIOS の日付をチェックすればその BIOS が改訂以前のものか以後のものかわかる。4－09－90 (1990 年 4 月 9 日) 以降の日付の AMI BIOS であれば修正が組み込まれている。

ほとんどの BIOS は、EPROM チップの窓の上に貼り付けられたラベルに、日付とリビジョンナンバーが著作権の表示と一緒に印刷されている。しかし、ユーザーはコンピュータのケースを開けてラベルを見なくても、さらにどれが EPROM チップかわからなくても、その BIOS の日付を確認することができる。DOS に付属してくる「DEBUG」

コマンドを使えば、BIOSのコードに組み込まれた日付を調べることができるのである。

BIOSの日付をチェックするには、このDEBUGプログラムを走らせるだけでよい（この処理はほとんどすべての機種で有効である）。

DEBUGプログラムを実行すると、〝－〟（ハイフン）のプロンプトが表示されるので、次の命令をタイプする。

```
D F000 : FFF0
```

数字と文字からなる神秘的な行が画面に表示されるはずだ。この行は3つにわかれていて、左のブロックは16バイトごとに表示されるメモリロケーションのラベルである。この場合は0FFFF0hである。中央のブロックのキャラクタは、これら16バイトのメモリのそれぞれの内容を示している。右側のブロックはこれらの値をASCII式で示したものである（その値が印字可能なキャラクタである場合）。BIOSの日付は右の列に表示されるはずだ。

DEBUGプログラムの操作方法

ほとんどのバージョンのDOSに付属されているデバッグプログラムを動作させるには、現在選択されているディスクとディレクトリの中にDEBUG.COMプログラムがあるか、このプログラムが環境変数PATHでアクセス可能になっている必要がある。この条件が整ったら、次のように入力する。

```
DEBUG
```

デバッグプログラムがロードされると、ハイフンのプロンプトが表示されので、次のコマンドを入力する。

```
D F000:FFF0
```

入力すると次のように表示される。この行の中でBIOSの日付は右列に表示されている。

```
F000:FFF0 EA AC 86 00 F0 20 30 39-2F 32 33 2F 38 37 FC 45....09/23/87.E
```

プログラムを終了するには、ハイフンのプロンプトに終了コマンドを入力する。この場合、〝Q〟をタイプすればよい。

```
-Q
```

すると、DEBUGコマンドは終了し、DOSプロンプトへ戻る。

システム識別バイト

正確にはBIOSの一部ではないが、IBM ROMには、IBMの**システム識別バイト**が含まれている。このシステム識別バイトは2つのバイトから成るもので、プログラムはこれを読めば、自分が動かそうとしているコンピュータのタイプや、システムボードのタイプがわかる。

最初IBMは、この目的には1バイトしか割り当てていなかったが、XTの286モデルになって、もっと細かな識別ができるように、もう1バイト追加した。IBM用語でこれらのバイトは、**モデルバイト**と**サブモデルバイト**と呼ばれる。

モデルバイトは、絶対メモリ·アドレス0FFFFEhにあり、サブモデルのバイトはその次に続いている。**表7-2**に、様々なIBMのコンピュータのモデルバイトとサブモデルバイトを示した。一般に互換機は、自分に最も似ているシステムのバイト値を使用している。

表 7-2　IBM のモデル識別バイトとサブモデル識別バイト

システム	モデル識別バイト	サブモデル識別バイト	リビジョン
PC	FFh	none	none
XT	FEh	none	none
ポータブル PC	FEh	none	none
XT (1986 年 1 月 10 日)	FBh	00h	01h
XT (1986 年 5 月 9 日)	FBh	00h	02h
PCjr	FDh	none	none
AT (初期)	FCh	none	none
AT (1985 年 6 月 10 日)	FCh	00h	01h
AT (1985 年 11 月 15 日)	FCh	01h	00h
XT モデル 256	FCh	02h	00h
PC コンバーチブル	F9h	00h	00h
PS／2 モデル 30	FAh	00h	00h
PS／2 モデル 50	FCh	04h	00h
PS／2 モデル 60	FCh	05h	00h
PS／2 モデル 80	F8h	00h	00h
PS／2 モデル 80	F8h	01h	00h

BIOS のデータエリア

BIOS コードが実行を始めると、BIOS は、動作に重要なパラメータの値を格納するために、ホストシステムのメモリの一部を利用する。格納されたデータの中には、**装置フラグ**、入出力アダプタのベースアドレス、キーボードキャラクタ、そして操作モードが含まれている。この BIOS のデータエリアには、絶対メモリアドレスの 0000400h から始まる 256 バイトのメモリが使われる。**表 7-3** は、BIOS のデータエリアの中で、重要かつ興味深いバイトのいくつかについての定義である。

表 7-3　重要な BIOS のデータエリアの割り当て

アドレス	機能
0400	第 1－RS232 アダプタ (COM1) のベースアドレス
0402	第 2－RS232 アダプタ (COM2) のベースアドレス
0404	第 3－RS232 のアダプタ (COM3) PS/2 のみ
0406	第 4－RS232 のアダプタ (COM4) PS/2 のみ
0408	第 1 プリンタアダプタ (LPT1) のベースメモリ
040A	第 2 プリンタアダプタ (LPT2) のベースメモリ
040C	第 3 プリンタアダプタ (LPT3) のベースメモリ
0410	**インストール済みハードウェアフラグ**
	ビット 0＝IPL ディスク
	ビット 1＝数値演算コプロセッサ
	ビット 2＝ポインティングデバイス (PC、XT、AT、互換機以外)

アドレス	機能
	ビット 4、5=ビデオモード
	01=40×25 カラー；10=80×25 カラー；11=80×25 モノクロ
	ビット 6、7=フロッピーディスクドライブの数
	ビット 9、10、11=シリアルポートの数
	ビット 13=内部モデル（コンバーチブルのみ）
	ビット 14、15=プリンタアダプタの数
0412	フラグの初期化
0413	ベースメモリのサイズ
0417	**キーボードステータスフラグ**
	ビット 0=右 Shift キー入力
	ビット 1=左 Shift キー入力
	ビット 2=Ctrl キー入力
	ビット 3=Alt キー入力
	ビット 4=Scroll キー入力
	ビット 5=Num Lock がロック
	ビット 6=Caps Lock がロック
	ビット 7=Insert がロック
0418	**追加キーボードステータスフラグ**
	ビット 0=左 Ctrl キー入力
	ビット 1=左 Alt キー入力
	ビット 2=Sys Req キー入力
	ビット 3=Pause がロック
	ビット 4=Scroll Lock キー入力
	ビット 5=Num Lock キー入力
	ビット 6=Caps Lock キー入力
	ビット 7=Insert キー入力
0419	オルタネートキーパッド入力の記憶エリア
041A	キーボードバッファの最初の文字に対するポインタ
041C	キーボードバッファの最後の文字に対するポインタ
041E～042D	キーボードバッファ
043E	**ディスケットドライブシークステータス**
	ビット 0=ドライブ 0 のリキャリブレート
	ビット 1=ドライブ 1 のリキャリブレート
	ビット 2=ドライブ 2 のリキャリブレート
	ビット 3=ドライブ 3 のリキャリブレート
	ビット 7=割り込みフラグ
043F	**ディスケットドライブモータステータス**
	ビット 0=ドライブ 0 モータがオンの状態
	ビット 1=ドライブ 1 モータがオンの状態

アドレス	機能
	ビット 2＝ドライブ 2 モータがオンの状態
	ビット 3＝ドライブ 3 モータがオンの状態
	ビット 4、5＝ドライブ選択
	00＝ドライブ 0；01＝ドライブ 1；10＝ドライブ 2；11＝ドライブ 3
	ビット 7＝ライト／リード動作フラグ
0440	ディスケットドライブモータのカウント
0441	**ディスクドライブ動作ステータスの最終フラグ**
	00＝エラーなし
	01＝無効なディスクドライブのパラメータ
	02＝アドレスマーク未検出
	03＝ライトプロテクトのエラー
	04＝要求されたセクタ未検出
	06＝ディスク変更線が起動
	08＝動作中の DMA のオーバーラン
	09＝64K の DMA アクセスの試行
	0C＝メディアタイプ未検出
	10＝ディスク読み取り中の CRC のエラー
	20＝一般コントローラ失敗
	40＝シーク動作失敗
	80＝ディスクドライブがノットレディ
0449	現在のビデオモード
044A	モニタ画面に表示される縦の行数
044C	バイト表示したバッファ領域長
044E	バッファ領域のスタートアドレス
0450～045F	最大 8 ページのカーソルの現在の位置
0460	カーソルモードの設定
0462	現在表示されているページ
0463	動作中のビデオアダプタボードのベースアドレス
0465	3×8 レジスタの現在の設定
0466	3×9 レジスタの現在の設定（ビデオパレット）
046C～046F	現在のタイマのカウント
0470	タイマが最後の読み出し後からロールオーバしていることを示すフラグ
0471	ブレークキーが押されたことを示すフラグ
0472	**フラグのリセット**
	1234＝バイパスメモリテスト
	4321＝リセット時のメモリ保持（マイクロチャネル PS／2 のみ）
	5678＝システムサスペンド（コンバーチブルのみ）
	9ABC＝製造テストモード（コンバーチブルのみ）
	ABCD＝システム POST ループモード（コンバーチブルのみ）

アドレス	機能
0474	ハードディスクステータスフラグ（最終動作の結果） 00＝エラーなし 01＝無効機能要求 02＝アドレスマーク未検出 03＝ライトプロテクト検出 04＝セクタ未検出 05＝リセット失敗 07＝ドライブパラメータ起動失敗 08＝動作中の DMA オーバーラン 09＝データ境界エラー 0A＝不良セクタフラグ検出 0B＝不良トラック検出 0D＝フォーマット時の無効のセクタ数 0E＝制御データアドレスマーク検出 0F＝範囲外の DMA 調停レベル 10＝ECC または CRC の修正不能エラー 11＝データエラーが修正された ECC 20＝一般コントローラ失敗 40＝シーク動作失敗 80＝タイムアウト AA＝ドライブ未準備 BB＝不確定エラー発生 CC＝選択されたドライブへの書き込み失敗 E0＝ステータスエラー FF＝認識動作失敗
0475	インストールされているハードディスクの数
0476	固定ディスクドライブ制御ポート（XT のみ）
0478	LPT1 プリンタのタイムアウト値
0479	LPT2 プリンタのタイムアウト値
047A	LPT3 プリンタのタイムアウト値
047C	COM1 シリアルデバイスのタイムアウト値
047D	COM2 シリアルデバイスのタイムアウト値
047E	COM3 シリアルデバイスのタイムアウト値
047F	COM4 シリアルデバイスのタイムアウト値
0480	キーボードバッファ開始ベースアドレス
0482	キーボードバッファ終了ベースアドレス
0484	表示される行（1 を引く）
0485	キャラクタの高さ（キャラクタあたりのビット数、EGA 以降）
0488	フィーチャビットスイッチ

アドレス	機能
048B	**最後に選択されたディスクデータ速度を表わすフラグ**
	ビット6、7：00＝500K／秒；01＝300K／秒；10＝250K／秒
048C	ステータスレジスタフラグ
048D	エラーレジスタフラグ
048E	ハードディスク割り込みフラグ
0490	**ドライブAメディアステートフラグ**
	ビット1、2、3：
	000＝360Kディスク／360Kドライブが未確立
	001＝360Kディスク／1.2Mドライブが未確立
	010＝1.2Mディスク／1.2Mドライブが未確立
	011＝360Kディスク／360Kドライブが確立
	100＝360Kディスク／1.2Mドライブが確立
	101＝1.2Mディスク／1.2Mドライブが確立
	111＝上記以外
	ビット4＝メディアが確立
	ビット5＝ダブルステッピングが必要（360Kディスクが1.2Mドライブに入っている）
	ビット6、7：00＝500K／秒；01＝300K／秒；10＝250K／秒
0491	**ドライブBメディアステートフラグ**
	（各ビットの意味は、ドライブAメディアステートフラグと同じ）
0492	ドライブA動作開始ステートフラグ
0493	ドライブB動作開始ステートフラグ
0494	ドライブA現行シリンダフラグ
0495	ドライブB現行シリンダフラグ
0496	**キーボードモードステートとタイプフラグ**
	ビット0＝最後のコードは隠しコードE1
	ビット1＝最後のコードは隠しコードE0
	ビット2＝右Ctrlキーが押されている
	ビット3＝右Altキーが押されている
	ビット4＝101／102キー（アドバンスド）キーボードがインストールされている
	ビット5＝ID及びKBXを読み込んだ場合Num Lock強制
	ビット6＝最後のキャラクタは最初のIDキャラクタ
	ビット7＝実行中のIDを読む
0497	**キーボードLEDフラグ**
	ビット0＝Scroll Lockオン
	ビット1＝Num Lockオン
	ビット2＝Caps Lockオン
	ビット3＝予約済み（0）
	ビット4＝アクノリッジ受け取り
	ビット5＝再送レシーブフラグ

アドレス	機能
	ビット6＝モードインジケータ更新
	ビット7＝キーボード転送エラーフラグ
04CE	カレンダ（1980年1月1日からカウント）
0500	**プリントスクリーンステータスフラグ**
	00＝準備中／準備完了
	01＝画面表示の印刷
	FF＝エラー

ROM BASIC

厳密にいえば、IBMのすべてのコンピュータのROMには、IBM BIOSではないものが含まれている。著作権によって保護されているだけでなく、機能とエントリポイントについて文書化されていないため、どの互換機メーカーもこの部分はコピーしない。この部分のコードは、**カセットBASIC**とか**ROM BASIC**と呼ばれる、原始的なプログラミング言語である。

カセットBASIC言語の本来の目的は、最初のIBM PCが、ディスクドライブなしでもいくつかの動作、いや、すべての動作が実行できるようにすることであった。ドライブにシステムディスクを入れずにブートさせると、IBMのコンピュータは、カセットBASIC言語を実行し始める。

IBM PCは、発表当時はディスクは標準装備されておらず、多くの小型コンピュータは大容量記憶装置としてカセットレコーダーのみを使用して動作していた。このようなPCは、カセットBASICによって、ブートアップしてテープからプログラムをロードすることが可能になっているのだ（簡単なBASICプログラムを走らせることも可能）。

PC DOSには、BASIC言語のもっと進歩したバージョンが含まれた。ただし、このBASICコードは、すでにIBMマシンのROMの中にあるカセットBASICを拡張するように設計されたものである。コードの主要部分は、すでにマシン内のROMにあるため、DOSのディスクに敢えてこの部分をコピーする必要はまったくないわけだ。ディスクから「BASIC」や「BASICA」プログラムをロードすることで、カセットBASICを拡張する新しいルーチンが容易に追加されるのである。

非IBMマシンは、ROMにカセットBASICが入っていない。したがって、ブート時にディスクが用意されていなければ何も起こらない。さらに、PC DOSに含まれているBASIC言語やBASICA言語のインタープリタプログラム走らせようとすると、クラッシュしてしまう可能性もある。これは、BASICやBASICAを完全な言語とするために必要になる、ROMのコードを見つけられないためで、BASICもBASICAもマシン自身も、訳が分からなくなってしまうのである。

Microsoftから直接販売されている「GWBASIC」言語や、多くの互換機に添付されているBASICインタープリタ言語は、動作するにあたってROMベースのIBMカセットBASICを必要としない。したがって、これらの言語は、事実上どのPC互換機でも走る。

7.7　BIOSの補足機能

あらゆるPCに組み込まれた基本BIOSに加えて、いくつかのマシンでは、従来のBIOSの機能を向上させたり補足する機能が追加された。その中でも最も劇的な改良は、PS／2シリーズのマシンにおいて行われた。PS／2の設計では大きな改良が施されたため、追加された機能が扱えるように、IBMは、BIOSの多くの形式を改訂しなければならなかった。また、マルチタスクのソウトウェアのための追加のコードも加えられた。この結果、BIOSのファームウェアは、システムのほかの部分と以前よりも強く統合され、BIOSは、新しいシステムボードのハードウェアと、セットアップを助ける特殊なソフトウェアを含む、完全なシステムの一部となった。この追加された機能の助けによって、インストールされるオプションやアクセサリとコンピュータは、一層うまく適合できるようになった。

PS／2のPOS機能

IBMは、PCをサポートした最初の数年間の中で、システムの問題のほとんどは、拡張ボードのDIPスイッチの設定ミスか、誤って設定された拡張ボード間の相互作用に起因することに気が付いた。このような問題を排除するため、IBMは自社のマイクロチャネルコンピュータにProgrammable Option Select（POS）と呼ばれるソフトウェアベースの設定方法を追加した。

POSによって、ジャンパスイッチやDIPスイッチは必要なくなった。代わりに、すべての設定作業はソフトウェアによって処理され、セットアップ情報は、CMOSメモリや特別なディスクファイルに格納されるようになった。PS／2のBIOSは、システムがブートされるたびに、格納されているコンフィギュレーション情報を、各拡張ボードに自動的にロードする。また、BIOSによってセットアップ情報が以前と変わらない状態であることも保証される。

POSの処理は、アダプタの識別番号（マイクロチャネルアダプタの各モデルにそれぞれ割り当てられている固有の名称）を元にして進行する。識別番号は4桁の数にコード化され、2バイトのデータとして格納される。マイクロチャネル拡張ボードは、いずれもこの識別番号を持っていなければならない。IBMは、自ら手形交換所のような役目を果たし、この識別番号を使って、拡張ボードの動作の衝突を防止しようとしている。これに対して、マイクロチャネル用のアクセサリメーカーの中には、勝手な番号を自社の製品に付けて、衝突の可能性を生み出してしまうところや、また、自社製品の互換性の正当性や、あるいはその雰囲気だけでもユーザーに与えようと、自社製品と似通ったアダプタにIBMが使用している番号を、そのままコピーしてしまうメーカーもあるかもしれない。しかし、どちらの方法も勧められていはない。実際、2バイト方式なら65,536通りの組み合わせが可能であり、ひとつひとつの拡張製品に割り当てる固有の識別番号は、しばらくの間不足することはないのだ。

POSのプロセスは、拡張スロットをひとつひとつ選択し、アダプタがあるかどうかそれぞれに照会することから始まる。スロットにアダプタがなければ応答はない。アダプタがあれば、POSのプロセスはそのアダプタの識別番号を照会する。そして、この番号は、そのスロットに割り当てられているCMOSメモリに格納された値と比較される。

アダプタ記述ファイル

2つの番号が一致していれば、POSはブートディスクの**アダプタ記述ファイル**を探す。この特殊なファイルには、アダプタに関する設定のセットアップ情報が含まれている。ファイルが見つかるとその値が読み出され、拡張カードがセットアップされる。そして、続いて次のスロットが照会される。

カードから読み出された識別番号がCMOSに格納されている番号と違っていたり、アダプタ記述ファイルが見つからない場合はエラーとなるの

で、再びシステム設定ユーティリティを走らせなければならない。

IBMは、アダプタ記述ファイルの正確な内容と構成を規定している。その内容がPS／2のリファレンスディスクの設定ユーティリティに使用されるからである。プロンプトとオプション選択はすべてファイルにリストされる。オプション選択は設定メニューに読み出され、そこに表示される。

アダプタ記述ファイルは、ファイル名に〝ADF〟という拡張子が付いていることからそれと判別できる。ファイル名の4桁の番号は、それに対応するアダプタに割り当てられた認識番号と同じである。

マイクロチャネルの拡張ボードが正しく設定される前に、それに対応するADFファイルを、リファレンスディスクの動作用にコピーされたディスクに移さなければならない。このコピーのプロセスを実行するために、設定の手続きの中には〝Copy an option deskette〟というメニューの選択肢がある。

また、いくつかのマイクロチャネルオプションには、**診断符号モジュール**や**POSTエラーメッセージファイル**が含まれている。これらはファイル名で識別することができ、ファイル名はオプションの認識番号を元に動作する。これらも同様に、リファレンスディスクの動作用にコピーされたディスクに移される。

POSのプロセスは、PS／2ラインのマシンと共に発展してきた。もともと、POSを制御するセットアッププログラムは、自動でのセットアップを試みた後は、インストールされた周辺装置のリストに従って進んでいた。そして、問題が発生しても元に戻ろうとはしないし、すでに設定されているボードに与えられたリソースを割り当て直すことはしなかった。しかし、POSコンフィギュレーションのもっと最近のバージョンは、すべての衝突が解決されるまで、あるいはオプションが尽きるまで、すべての周辺装置について繰り返し行っている。

設定の手続きを更新するには、普通は新しい周辺装置をインストールするだけでよい。そのままの状態で、リソースの衝突なしにPS／2が動いているのなら、新しい周辺装置を追加したときだけ設定の手続きに配慮すればよい。新しいマイクロチャネルボードはほとんど、設定ルーチンを更新するコードがついてくるので、ユーザーは自動的に更新された設定手続きの恩恵に与かることができる。

PS／2アドバンスドBIOS

マイクロチャネルPS／2の発売と共に、IBMは標準BIOSを改訂し、OS／2やそのほかの進んだアプリケーションの使用の促進を目的とした、新しいプロテクトモードルーチンをこれに追加した。IBMは、このプロテクトモードルーチンについては、既存のBIOSの中に組み込むよりも、別に分けておく方法を採ったため、PS／2のBIOSは、約128KバイトのROMに収められた2つのセクションで構成されることになった。

片方のセクションは、**互換BIOS**または**CBIOS**と呼ばれている。これはシステムメモリの最初の1Mバイトに対してのみアドレスを行い、PC DOSによって使用される。以前のIBM BIOSと完全な互換性があることからこのような名前がついている。

BIOSコードのもう1つのセクションは、完全に新しいものである。これは**アドバンスドBIOS**または**ABIOS**と呼ばれ、プロテクトモードでは、80286マイクロプロセッサの16Mバイトの範囲内すべてにアクセスする。ABIOSは、当然PS／2も含まれるマルチタスクシステムをサポートする目的で特別に設計されたものである。

ABIOSの動作方法は、CBIOSとは実質的には異なっている。ABIOSでは、ハードウェアデバイスにアクセスするために、ソフトウェア割り込みや、受け渡しパラメータを使用するのではなく、プログラミング言語のサブルーチンと統合するように意図された、コールシステムをベースとしている。ABIOSのルーチンを使用するために、プログラムは制御権をサブルーチンに渡し、ルーチンが完了したら、サブルーチンは制御権を再びプログラムに戻す。

ABIOSはCBIOSとは異なり、〝リエントラント〟(再入可能)である。この機能によって、ABIOSは最初のコールの結果を待つ間に、次のコールを

発行できる。たとえば、プログラムが、ABIOSにシステムのディスクドライブから、データのクラスタを読み出すように要求しているとする。このとき、ディスクの側でデータ転送の準備がまだ整っていない場合でも、ABIOSのルーチンは、ユーザーにディスクの準備が整っていないことを知らせる一方で、引き続きディスクの読み出しを試し続けるのである。ABIOSのルーチンは再入可能なため、実行されているプログラムは、ほかのディスクドライブなどに対する次のコールを発行することができる。このリエントラント機能によって、マイクロチャネルPS/2のABIOSは、本当の意味でマルチタスクモードで動作することができるのである。

BIOSメーカーやパーソナルコンピュータのベンダーの中で、IBMのABIOSのクローンを作ったところはほとんどなかった。OS/2が発表から数年間はなかなか受け入れられなかったため、ABIOSとの互換性に配慮するメーカーはほとんどなかったというのがその主たる理由である。さらに、ABIOSの重要な仕様は、単に286マイクロプロセッサのモードスイッチングを簡単にしただけであり、386やその後のマイクロプロセッサでは、自由にリアルモードとプロテクトモードの間を切り換えることができることを考えれば、ABIOSの最も重要な部分は見当違いなのである。さらに、OS/2は何度か作り変えられて、ABIOSなしでも互換性を高めている。ABIOSを持っている、もしくは模倣しているパーソナルコンピュータにとっては、ABIOSによって得る部分もあるが、これがなくても重大な欠点とはいえないのだ。

第8章

サポート回路

サポート回路は、パーソナルコンピュータをひとつにまとめる接着剤のようなものである。マイクロプロセッサは、パーソナルコンピュータとその周辺装置とを結ぶ信号だけでなく、サポート回路から供給される信号も扱う必要がある。数年間にわたるの開発の過程で、サポート回路の形式や性質は変化してきたが、その機能は一貫して変らず、IBM 互換機を定義する要素の１つである。

釘なしで家を建てることはできないのとまったく同様に、サポートチップなしでパーソナルコンピュータを作ることはできない。パーソナルコンピュータの全機能を統合し、各動作を調整し、内部の信号を制御するためには、多くの回路が必要である。つまり、コンピュータを作るには、マイクロプロセッサ以外にも多くのものが必要なのだ。もしそうでなければ、「マイクロプロセッサすなわちコンピュータ」ということになる。最近では、マイクロプロセッサ以外には、ほとんど何も使用しないようなシステムも多くなっているが、現在のパーソナルコンピュータには、マイクロプロセッサを有効に動作させるために、依然として多数のサポート機能が必要である。サポートチップは、マイクロプロセッサが扱わなければならない信号をマイクロプロセッサに供給するだけでなく、マイクロプロセッサ以外の部分が扱う必要のある信号も生成している。

重箱の隅をつつくのが趣味のような人たちは、釘なしで家は建てられないと聞くと、宇宙時代の接着剤やドライウォールスクリュー、ペグアンドテノン工法などを使用すれば釘なしで家を建てることができることを大喜びで指摘することだろう。こういう了見の狭い人に対する正しい返事は、「現実を認識しなさい」であり、これはまさに今日のパーソナルコンピュータについてもいえることである。今日のパーソナルコンピュータには、旧式のマシンに見られるような、おびただしい数のサポートチップの詰め合わせは存在しない。現在では、必要不可欠なサポート機能は１個のチップの中に収められており、ときにはシステムマイクロプロセッサと同じパッケージの中に組み入れられていることもある。これは、コンピュータの構造が、釘も接着剤も必要ない、まさにプレハブ住宅のようなものであることを示している。

今日のシステムの中には、サポートチップそのものが存在しないシステムもあるが、その場合でも、この不可欠な回路によって実現される機能は残っている。これはつまり、サポート回路はその機能を維持しながら、形式だけが変わってきたということである。釘がなくても、（少なくとも伝統的な形式の家を建てるのであれば）柱や板や梁を互いに留める、釘に代わるものが必要なのである。

8.1 チップセット

初期のパーソナルコンピュータでは、サポート回路は、様々なディスクリート回路(論理ゲートのような小規模の汎用集積回路)と、それぞれが特定の機能を持つ、いくつかの機能単位との組み合せでできていた。ただし、それぞれの回路や機能ブロックは、ある特定のコンピュータモデルやコンピュータ設計に限定されたものではなく、汎用のものである。コンピュータに必要な全機能を最初のPCに組み込むために、遊園地の遊具のように多種多様なこれらの回路は結合されたのだ。

PCが、徐々に一般に普及していく中で、先進性に富んだ半導体メーカーは、互いに関連したコンピュータ機能の多くを1つのパッケージに合体させた。複数のパッケージを使うことを止めて、すべての機能を相互に連結させることは、パーソナルコンピュータの信頼性を向上させることに役立つ。さらに、複数の回路を1つに統合させるこの集積化は、パーソナルコンピュータのサポート回路を安価なものにした。最初は、関係のある機能だけが組み合わされていたが、半導体メーカーが経験を重ね、製造技術によってより小さい設計ルールやより高密度のパッケージングが可能になるに伴い、パーソナルコンピュータ内部の様々なサポート機能が、わずかな数のVLSI部品に統合されるようになった。これらひとつひとつのチップは、**特定用途向けIC**(Application－Specific Integrated Circuits)または**ASIC**と呼ばれ、まとめて**チップセット**と呼ばれている。

チップセットは、パーソナルコンピュータ産業を様変わりさせた。サポート回路が分かれていると、マザーボードの設計は、本当の意味の設計技術が問われる。なぜならこの場合の設計には、パーソナルコンピュータのすべての要素について、電気的な機能に対する深い理解が要求されるからである。これに対してチップセットを使えば、エンジニアが信号の出入りについて関与しなければならない部品は少なくてすむ。チップセットは、すべての設計者が求める、不思議なブラックボックスのようなものといえよう。実際、多くの場合において、チップセットを使ってパーソナルコンピュータを設計する際に求められる唯一の技能は、地図をもとに目的地までたどり着く能力である。ほとんどのチップセットメーカーは、自社製品の評価を支援する目的で、マザーボード用の回路設計図を提供しているが、市販用のボードを作成するにあたって、このチップセットメーカーから提供される評価用の回路を使っているだけのマザーボードメーカーも多い(こういうメーカーがあまりにも多過ぎるかもしれない)。

今日では、チップセットさえ消えつつある。パーソナルコンピュータ全体のすべてのサポート回路を組み込むのに、1個のチップがあれば十分だからだ。さらに、チップメーカーはすでに最終段階に来ている。つまり、マイクロプロセッサ自体にサポート回路を集積化するのである。しかしながら、単体のチップ設計は、特にノートパソコンやハンドヘルドPCのような、スペースの問題を抱えた機器に対してはそれなりの利点もあるが、必ずしも最適なアプローチとはいえない。マルチチップ構成のほうが、ハードウェアのエンジニアは、製品のカスタマイズや最適な設計を自由に行うことができるからだ。これは、システムの最適化にかかる時間を少なくできる可能性が高いことを意味している。半導体のコストの点では、1チップ構成の場合と3チップ構成の場合ではそれほど違わないため、デスクトップサイズのマザーボードでは、チップの増加による不利益はほとんどないことになる。

8.2　タイミング回路

アナーキーな国々は、我々に、「個人の自由を信じるべきだ、さもなくば武器を売れ」と忠告してきた。しかし、コンピュータ回路にとっては、各構成要素の自由に任せた無秩序状態は容認できない。パーソナルコンピュータにおけるデータ処理の設計は、組織化され管理化された協同作業の上に成り立っているからだ。したがって、「タイミング」は重要な問題である。パーソナルコンピュータを通過する各パルスの意味は、時間の関係に依存している。システム全体が正しく動作するために、適切な瞬間に回路間を信号が通過しなければならない。

コンピュータの回路は、**同期回路**と呼ばれる技術に基づいて設計されているため、パーソナルコンピュータにとって時間は重要である。コンピュータの論理素子は、すべて同期して動作する。すべての論理素子は、指定された動作をワンステップずつ実行し、各回路は周りの回路と同じタイミングで個々のステップを実行する。この同期動作は、クロックの決まったポイントにビットデータが存在することを保証し、コンピュータがすべてのビットデータをのがさずに処理することを可能にしている。

クロックとオシレータ

システムクロックは、すべての回路が従うべきタイミングをとる「指揮者」のようなもので、正確に制御された間隔で特定のタイミングパルスを送り出している。ただしこのクロックは、送り出すきっかけを自分自身の内部で作り出すか、あるいはある種のメトロノームのようなものから得なければならない。

正確に絶え間なく時間を刻む電子回路のことを、**オシレータ**と呼ぶ。ほとんどのオシレータは、簡単なフィードバック原理で動作している。マイクとスピーカが近すぎたりスピーカの音が大きすぎたりすると、マイクはスピーカが発した音声を拾ってしまうが、これと同じ様にオシレータも自分の発する音を拾っているのだ。

音響のフィードバックによる「ハウリング」は、マイクとスピーカを使った公衆演説では不快の種になるが、実際オシレータもハウリングを発生している。しかし、そのフィードバック回路はとても短いため、信号を遠くまで伝達する必要がなく、周波数も数千倍高いだろう。

オシレータは自分の出力を自分の入力とみなし、信号を増幅して出力に送り、再び入力に戻す。こうして信号の動きは、エンドレスで制御不可能な輪になる。これに対し、オシレータの出力と入力の間に特殊な電子部品を入れて、このフィードバックの輪に障害物を加えると、オシレータを制御することができる。つまり、フィードバックとオシレータの周波数の制御が可能になるのである。

ほとんどすべてのパーソナルコンピュータでは、この周波数を制御する部品として、圧電化合物の1である水晶（クォーツ）が使用されている。圧電物質には変わった特性があって、曲げると微小な電圧を発生し、逆に適当な方法で電圧を加えると曲がる。

水晶は例外なく前述の反応を示すが、この刺激と反応の単純な関係以上に重要な特性を持っている。水晶のサイズや形を厳密に制御することによって、決まった周波数で共振するようにできるのである。この共振周波数はきわめて安定しており、信頼性がたいへん高い（たとえば、これを使用した電子時計の場合、月差を数秒以内に保つことができる）。パーソナルコンピュータでは、論理回路を正確に操作するにあたって、クオーツ時計ほどの絶対的な精度は必要ない。しかし、パーソナルコンピュータでも、クロック周波数については、設計上要求される制限範囲がつねに存在し、クオーツオシレータの基本的な安定性のおかげで、パーソナルコンピュータが使用しているクロック周波数が、その制限範囲内であることを保証できる。

最初のIBMパーソナルコンピュータの設計では、14.31818MHzで共振する水晶発振器が1個

使用されている。このように半端な数の周波数が選ばれたのには、特別な理由がある。最初のPCを設計したエンジニアは、PCを設計するにあたっての要件として、テレビとの互換性が重要であると考え、カラーテレビの信号で使用されているサブキャリアの周波数(3.58MHz)の、ちょうど4倍にあたるこの周波数を採用したのである。マルチメディアの用途を予期していたこともあるが、どちらかといえば、PCの画面表示に使える安価な手段を求めていたのである。PCがリリースされた当時、安いカラーのコンピュータモニタは手に入らなかった(手に入ったとしても、それに対応したカラーグラフィックソフトウェアはほとんどなかった)。

これらの初期のコンピュータに搭載された実際のオシレータは、「8284A」という特殊な集積回路と、14.31818MHzの水晶で構成されていた。水晶の基本周波数の出力は直接拡張バスに送信される。オシレータのもう一方の出力は、パーソナルコンピュータのタイマ／カウンタ回路のタイムベースとして使用する1.19MHzの周波数を得るために、別の補助チップによって分周された。また、この同じ補助チップによって、水晶の基本周波数が3分周され、4.77MHzの周波数が生成されていた。この周波数は、マイクロプロセッサが実際に使用するクロック信号で、システムマイクロプロセッサの動作速度を決定するものである。さらにこのクロック信号で、PCやPC系の8ビットバスコンピュータの内部のすべての論理演算を同期している。

14.31818MHzの水晶が、PCやPC互換のコンピュータの動作速度を決定していることを知ると、もっと高い周波数で動作する水晶に替えるだけで、システムをスピードアップし、システム全体の性能を向上できると考える人がいるかもしれない。事実、この方法によってパーソナルコンピュータの動作速度は増加するが、いくつかの理由からこの考えは適当であるとはいえない。

この理由となる問題の1つは簡単に解決できる。PCの8088マイクロプロセッサの定格はわずか5MHzで、これ以上のスピードでは正確に動作しない場合があるが、これより高速のクロックを扱えるマイクロプロセッサ(8088−2、NECのV−20など)と交換できるようになっている。ただしその場合、システムのほかの部分も、クロックの高速化に対応してアップグレードしなければならない。大きな障害は、パーソナルコンピュータの設計が、1個のオシレータだけに基づいていることである。したがって、システム全体のすべてのタイミングのベースとなっている1個のオシレータの周波数を変えると、システムに異常が発生する可能性が出てくる。定格を超えた周波数でシステムを使い続けると、誤動作することがあるのだ。システムのタイミングに依存しているソフトウェアは、暴走してしまうかもしれないし、拡張ボードは変更されたバススピードでは動作しない可能性もある。フロッピーディスクでさえ、ある種のソフトウェアで使用すると誤動作してしまうかもしれない。

パーソナルコンピュータのオシレータ／クロック設計に関しては、柔軟性や汎用性や有用性などより、むしろ節約ということに主眼が置かれてきたようである。このような初期のシステムでは、コンピュータ内部で必要とされる数種類の周波数は、基本となる1つの周波数を様々に分周して作っていた。このように節約して作ったシステムをスピードアップさせる場合に、コンピュータのすべての部分の周波数を変化させると、周波数が厳格に規定されているほかの部品を混乱させてしまうようである。このため、IBMがパーソナルコンピュータの基本構想を再考して、「アドバンステクノロジー」(AT)と呼ばれるアプローチを提案すると同時に、オシレータは完全に設計しなおされた。

より進んだATの設計では、システムクロックは、タイマとオシレータの束縛から解放された。ATやATアーキテクチャをベースにした後続のコンピュータ(つまりほとんどのパーソナルコンピュータ)では、使用する水晶発振器は1個から3個に増えている。このうちの1つは、バスとマイクロプロセッサと関連回路を同期させるシステムクロックの発信源として使用される。もう1つは14.31818MHzで動作しており、PCとの互換性をとるために、タイマ／カウンタチップと14.31818MHzのバス信号に対する入力を供給す

る。3つめのオシレータは、コンピュータの電源がオフにされたときでもバッテリ電源で駆動する、CMOS時計を制御している。

オリジナルのATのオシレータは、8284Aタイマチップと14.31818MHzの水晶をベースにしている点でPCとほとんど同じだった。オシレータの出力は直接バスに送信される。最初のPCに対して下位互換性を維持するため、ほかの出力は1.19MHzに分周されてタイマ／カウンタ回路に供給されている。オリジナルのATには、システムクロック信号を発生させるために、特別な回路部品が専用に搭載されていた。「82284」システムクロックジェネレータチップである。マイクロプロセッサの動作周波数は、このチップに接続された水晶をベースにしていた。マイクロプロセッサ、バス、関連回路の速度を制御するクロックを生成するために、82284は水晶の周波数を半分に分周している。オリジナルのATは、12MHzの水晶を分周した6MHzで動作し、その後のATは、16MHzの水晶を分周して8MHzのクロックで動作していたわけだ。

82284オシレータが使用する水晶を取り換えると、マイクロプロセッサの速度が変化する。この変更は、拡張バスの動作速度にも影響を与えるだろう。オリジナルのATの設計では、バスクロックの周波数はマイクロプロセッサクロックと同期していたので、バスとマイクロプロセッサは完全に同期して動作していた。しかし、設計者がマイクロプロセッサを高速で走らせるようになると、バスはその速度についていくことができなくなった。このため、ISA拡張バスを採用している現在のパーソナルコンピュータのほとんどが、マイクロプロセッサクロックと拡張バスの間に周波数分周回路を置いている。

拡張バスのクロックは、マイクロプロセッサクロックを直接の源としているため、2つのクロックは完全に同調してバスの同期動作を行っている。しかしバススピードは十分低い周波数に保たれているので、ほとんどの拡張ボードは問題ない。ほとんどの拡張ボードは8MHzに適応するように設計されているため、大抵のISAシステムは、8MHzに最も近いマイクロプロセッサクロックの約数でバスを走らせるように工夫している。EISAバス設計でも同様に、名目上は8MHzのバス速度が指定されている。

IBMは、PS／2シリーズのオシレータ設計を一新したが、前のシステムとの互換性の維持にも大いに努めている。最初のPS／2のときから、新しく搭載された機能にまざって、システムのオシレータやクロックと共に、マザーボード上の多くの周辺回路もASICに組み込まれた。

たとえば、最初のISA PS／2のモデル25および30は、それぞれ「システムサポートゲートアレイ」と「I／Oサポートゲートアレイ」と呼ばれている2個のVLSIチップに、タイマとオシレータとクロックの各機能を入れている。前者の回路はシステムクロックを生成し、48MHzの外部オシレータの出力で発振を開始する。システムクロックとして使用する8MHzの周波数を作るために、システムサポートゲートアレイはこの周波数（外部オシレータの出力）を6分周している。システムメモリのリフレッシュ機能は、以前のシステムではシステムタイマのチャネルを使う必要があったが、PS／2では、これもシステムサポートゲートアレイが制御している。これらの機能に加えて、システムサポートゲートアレイは、システムバスのコマンドを受け取る機能ブロックと、各種デバイス（マイクロプロセッサ、コプロセッサ、DMAコントローラなど）も制御する。

I／Oサポートゲートアレイは、シリアルポートとパラレルポート、フロッピーとハードディスクのコントローラ、ビデオシステム、そしてリアルタイムクロックを制御している。ただし、これらの機能に対するすべての回路が含まれているわけではない。また、I／Oサポートゲートアレイは、システムタイマが使用する1.19MHzの信号も発生する。

現在のパーソナルコンピュータにおけるクロックとオシレータ設計の方向性は、Chips and Technologyの「82C836」（「SCATsx」とも呼ばれる）の中に、その具体的な姿を見ることができる。このワンチップのVLSIデバイスは、ATスタイルのコンピュータを、386SXを使って構築する際に必要になるマザーボードロジックの大部分を、ひ

とつにまとめたものである。82C836は、水晶で制御される1個のオシレータ信号(通常は32、40、50MHz)に適応しており、システムマイクロプロセッサ、拡張バス、DMAシステムにそれぞれ独立した出力クロック信号を供給する。

また82C836は、別の水晶やオシレータから発振される14.31818MHzのI/Oクロックも供給している。82C836はマイクロプロセッサクロックを生成するが、これは入力クロックとまったく同じか、その2分の1、4分の1、8分の1のいずれかである。バスクロックは入力周波数の4分の1、5分の1、6分の1のいずれかにセットすることができ、DMAクロックはバススピードかその2分の1にセットすることができる。要するに、82C836のようなチップセットを使えば、パーソナルコンピュータの設計者は、1つのオシレータ周波数を供給するだけで、それ以上の処理や配慮をしなくても、必要なクロック信号をすべて自動的に発生できるわけである。しかしそれでも、特殊なシステムの要求仕様に合わせて、バスやDMAの速度を何種類かの中から選択する自由が与えられていることには変わりない。

タイマ

パーソナルコンピュータ内部のクロックやオシレータによって発生する信号は、内部で使用されることしか想定されていない。それらは、コンピュータ内部の家事のような煩雑な仕事、つまり、様々な回路部品の動作を規定するために使用されるのである。システムタイマは、もっと多様な機能に使用される。クロックやオシレータの周波数は、ハードウェア設計の目的によって決定されるが、パーソナルコンピュータのタイマは、これらとは違ってプログラム可能なため、そこから出力される周波数は特定のアプリケーションの要求に適合するように変更できる。

オリジナルのPCのタイマ信号は、「8253」タイマ/カウンタ集積回路チップを使ったシステムクロックから発信されていた。8253は、実際には1個のチップの中に3個の16ビットタイマを入れたもので、いくつかの重要な信号を、システムクロックを基にして生成している。このチップの出力の1つは、パーソナルコンピュータ内部の時刻を制御し、もう1つは、コンピュータのメモリリフレッシュ回路を制御し、残りの1つはスピーカ用の音声信号を発生する。

8253タイマ/カウンタの働きは、パルスを1つ受け取るたびに、内部レジスタに保持されている値を1ずつ減らすことで、受け取ったクロックパルスの数をカウントすることである。PCシリーズのコンピュータでは、8253タイマ/カウンタが実際カウントできる信号はシステムクロックの約数であり、4で割ると約1.19MHzになる。

8253は、6つの異なるモードのいずれかで動作するようにセットアップできる(PCのI/Oポートを使用)。このうち2つのモードは、スピーカのチャネルにのみ使用できる。最も単純なモードであるモード2では、8253は周波数の分周やレートの発生を行う。8253のレジスタに数を与えると、8253はその数までカウントする。カウントがその数に達すると8253はパルスを出力し、もう一度最初からカウントしなおす。8253のレジスタに"2"をロードすると、入力されたパルスの2分の1のパルスを送り出す。1,000をロードした場合、出力は入力の1,000分の1である。このモードでは、8253チップは、ユーザーが定義したいかなる範囲の間隔でも、割り込みを発生することができる。16ビットのレジスタにロードできる最大値は216か65,536である。したがって、8253がカウントできる単一の最長間隔は約0.55秒、つまり、1.19MHzの入力信号を65,536で割ったものである。

PCの8253タイマ/カウンタの6つのモードとその機能とプログラミングを表8-1に示す。

表8-1　8253タイマ／カウンタチップの操作モード

モード	操作
0ーカウント終了割り込み	タイマは値をロードされると、その値から0まで、1クロックパルスごとに1ずつカウンタを減らしていく。
1ーハードウェア再トリガ可能ワンショット	トリガパルスによってタイマ出力はローになる。カウントが0に達すると出力はハイになり、リセットされるまでハイを維持する。このプロセスはトリガされるたびに繰り返される。最初のサイクルの前にチップに制御ワードと初期カウントを書き込むことによって、パルス長がセットされる。
2ーレート発生	タイマにロードされた初期カウントの値で、入力信号を分周する。
3ー矩形波	タイマにロードされた値と同じ周期(クロックパルス単位)で、連続した矩形波を発生する。
4ーソフトウェア再トリガ可能ストローブ	タイマは、タイマにロードされたクロックサイクルの数を減らし、0になったらパルスを出力する。ソフトウェアによって次のサイクルの開始を指示する。
5ーハードウェア再トリガ可能ストローブ	タイマは、タイマにロードされたクロックサイクルの数を減らし、0になったらパルスを出力する。ハードウェアが発生したパルスによって次のサイクルの開始が指示される。

オリジナルのPCでは、時刻信号を発生させるために、8253タイマ／カウンタを可能な限りで最も長いカウント値に設定し、毎秒18.2回の割合でパルスを発生させている。このパルスによって時刻割り込みが発生し、PC側はこのパルスをカウントすることで現在の時間を知る。プログラムは、定期的にコンピュータが何をすべきか調べる必要があるが(たとえば、離れた場所にあるコンピュータに電話を掛ける時間かどうかの確認など)、その際に、これらの割り込みを利用することもできる。このチャネルをプログラミングしなおすことによって、システムが報告する時刻に、おもしろい効果を起こせることを記憶しておいてほしい。この再プログラミングによって、システムが告知する時間を、音を立てて過ぎ去るほど高速に経過させることも可能なのだ。

8253のスピーカ部分は、同様の方法で動作するが、スピーカを駆動し、音を鳴らすために使用される波形を発生するのは、この部分だけである。スピーカの音を変えるために、プログラムからこの部分の設定を変更することができる。さらにプログラムは、メモリコントローラを駆動するチャネルも修正することができるが、その場合はコンピュータが暴走する可能性がある。

ATのタイマ／カウンタは、チップをベースにしている点を除けば、初期のIBMコンピュータと同様である。ATでは、タイマ／カウンタは3つの出力を供給している。1つ目は時刻信号と割り込みを発生させる毎秒18.2のパルスの出力。2つ目はメモリリフレッシュサイクルのトリガを供給する出力で、ATの場合は15ミリ秒周期で信号を発生している。そして3つ目はスピーカを駆動する出力である。これらの動作を制御する方法は、これに関連する機能の制御と同じで、同一のI／Oポートで行われる。

PS／2シリーズでは、タイマは独立した回路部品である8253(以前のIBM PCやXTと同じ)として残っており、タイマは同じコマンドによって同じポートを通してアクセスおよび制御を行える。ただし、新しいIBMの設計では、タイマの3つの出力の割り当てに違いがある。出力の1つが、システムタイマとして使用される毎秒18.2のパルスを発生し、もう1つがスピーカを制御することは、以前と同じである。残りのチャネルは、PCやXTではDMAの動作に使用されていたが、モデル25と30では、診断プログラムだけに使用されるよ

うに変わり、出力は未接続である。マイクロチャネルのPS／2モデルでは、DMA転送のための機能はシステムサポートゲートアレイに統合されている。オシレータおよびタイミング機能はVLSIチップに統合されているが、回路の機能は、前のモデルのタイマと互換性を維持している。ただし、不慮の事態に対する防護機能を持たせるために、システムタイマ機能のいくつかが修正された。モデル25や30と同様に、システムタイマはDMAの任務から開放され、この雑用はゲートアレイで処理されている。タイマチャネルと、名目上この機能に割り当てられているI／Oポートアドレス041hは、マイクロチャネルPS／2では確定されていない。そのかわりに3つめのタイマチャネルに〝ウォッチドック（番犬）〟機能が割り当てられ、マイクロチャネル拡張バスを監視している。

このタイマチャネルは、毎秒18.2回の時刻割り込みを監視している。タイマチャネルは、予定どおりに到着しない時刻割り込みの数をカウントする。そして、遅れた割り込みの総数が危険値に達した場合には、システムにエラーを通知する。プログラムが失敗してシステム割り込みの正しい動作を妨害すると、このウォッチドックがエラーを通知し、訂正処理が実行される。

シングルユーザー、シングルタスクシステムでは、このウォッチドック機能に価値があるかどうかは疑わしい。割り込みが失敗すると、実行中のプログラムもコンピュータもクラッシュしてしまうからだ。しかしながら、マルチタスクシステムでは、このウォッチドック機能によって、実行中のアプリケーションをシステムクラッシュの影響から守るチャンスを与えられる。

表8-2　8253タイマのレジスタと制御

レジスタI／Oポートアドレス		機能	
040h		タイマ0カウント	
041h		タイマ1カウント	
042h		タイマ2カウント	
043h		8253制御レジスタ	
		ビット0：0＝16ビットバイナリカウンタ	
		1＝2進化10進数（BCD）カウンタ（4桁）	
ビット1〜3――バイナリ形式のモード選択			
ビット3	ビット2	ビット1	モード
0	0	0	0
0	0	1	1
X	1	0	2
X	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5
ビット4、5――リード／ロード			
ビット5	4ビット	機能	
0	0	カウンタラッチ操作	
0	1	リード／ロードの最下位バイトのみ	
1	0	リード／ロードの最上位バイトのみ	
1	1	最初はリード／ロードの最下位バイト。続いて最上位バイト	

ビット6、7――セレクトカウンタ		
ビット7	ビット6	機能
0	0	カウンタ0選択
0	1	カウンタ1選択
1	0	カウンタ2選択
1	1	違法インストラクション

ウォッチドック機能は無効にすることも可能である。タイマを制御するI/Oポートによって調整されるそのタイミング値は、表8-2に示すとおりである。

市販のチップセットをベースにした最近のパーソナルコンピュータは、ATの「8254−2」タイマチップの機能を、チップセットの内部に単純に複製している。これらのコンピュータの時刻タイマおよびスピーカタイマは、ATに搭載されているものとまったく同様にプログラム可能である。多くのシステムでは、システムメモリをリフレッシュする間隔の決定を、3番目のタイマチャネルを使用するという従来どおりの方法で行っている。プログラムが及ばない範囲の回路にメモリリフレッシュ機能を任せることによって、予期しない損害を妨ごうとしているシステムもわずかにある。しかし、タイマをいじくり回そうという目的がない限り（つまり、自分自身でハードウェアレベルのプログラミングを行うつもりがない限り）、ほかの設計の中からわざわざこの設計を選ぶ必要はない。

リアルタイムクロック

オリジナルのPCで最も煩わしい特徴は、コンピュータにスイッチを入れる度に時刻と日付を訊いてくるという悪しき習慣だろう。これに対するお決まりの返事は、デフォルトの値をロードするために、Enterキーを2回たたくことである。システムはこの指示に従順に従って、現在の日時を1980年1月1日の真夜中0時とみなし、まるで新年の束の間をあくせく働いて過ごしたかのように、全ファイルにこの日時を刻み込む。

ATや最近のコンピュータはすべて、サポート回路中に**リアルタイムクロック**を組み入れることによって、この問題を回避している。IBMは、リアルタイムクロックとして「MC146818」チップという特殊なクロック回路を使用している。MC146818はローパワーのCMOS回路をベースにして、パーソナルコンピュータの電源のオンオフに関係なく、規則的に動作するように設計されたものだ。電源オフ時の電力は、システム内部に準備されているバッテリによって供給される。

MC146818は、32.768KHzで動作する水晶発振器のパルスを数えることによって時間を測定する。したがって、これはクオーツ時計と同じくらい正確なはずである（MC146818はほ、ほかの周波数のオシレータにも対応できる）。しかし互換機メーカーは、オシレータを適切に調整しようとはしないので、多くの互換機の伝える時間は、子供があてずっぽうに言う時間と同じぐらい不正確なものである。ほとんどの場合、メーカー（あるいはねじ回しを持っている人なら誰でも）は、クオーツ水晶に直列につながれた調整器（調整可能なキャパシタ）によって、オシレータの共振周波数を変更することができる。調整器をひねると、リアルタイムクロックを実際の時間に近づけることができる（コンピュータの中心部のクロック水晶の近くに見つかる、溝のあるシャフトが付いた短いシリンダが調整器である。調整器は通常、MHz帯ではなくKHz帯でのみ使用される部品である）。

リアルタイムクロックは、アラーム機能も内蔵している。MC146818は、アラームにセットされた時刻になったら割り込みを発生するようにプログラムすることができる。アラームのセットは、MC146818のレジスタに適切な時間の値をロードすることによって行われる。

MC146818はリアルタイムクロックのほかに、

システム構成の情報を記憶するために使用するCMOSメモリを内部に持っている。オリジナルのIBM設計では、この目的に、MC146818内部の64バイトの記憶装置を使用した。このうち10バイトは、クロックとアラームデータを記憶し、4バイトはステータス情報を記憶し、残りはインストールされたディスクの数やタイプ、メモリ容量、そのほかのシステムオプションなどのセットアップデータを記録するために確保されている。互換機やマイクロチャネルコンピュータでは、より広範な種類のオプションが記憶できるように、CMOSメモリの容量が増やされている。

多くのチップセットは、内部回路でMC146818をエミュレートしている。さらに、バッテリを内蔵する特殊なリアルタイムクロックモジュール(MC146818のエミュレートも同時に行う)も存在する。

MC146818のCMOSメモリや、MC146818をエミュレートしているチップセットは、ホストコンピュータのマイクロプロセッサから直接アクセスすることはできない。これらはI/Oポートを通してアクセスされるようになっている。CMOSに対して読み出しや書き込みを行う場合は、どのアドレスをアクセスすべきかを最初に指示する必要がある。これを行う場合は、〝OUT〟インストラクションを使って、アクセスしたいCMOSのアドレスの値を、I/Oのポート070hに書き込む。そのアドレスを読み出しするためには、I/Oポート071hを〝IN〟インストラクションで読み出し、そのアドレスに格納された値は、マイクロプロセッサのALレジスタに戻される。最初のOUTコマンドで指示したアドレスに書き込みを行う場合は、もう1回OUTインストラクションを使用して、書き込みたいデータをI/Oポート071hに書き込む。これらのコマンドによって、ユーザー(正確にはプログラム)はリアルタイムクロックを読んだり、アラームをセットしたり、セットアップデータを修正したりできる。セットアップデータを不用意に変更すると、パーソナルコンピュータが混乱してしまう可能性もあるため、CMOSメモリに手を加えるときは注意が必要である。

8.3 割り込みコントローラ

Intelのマイクロプロセッサは、ソフトウェアとハードウェアの2種類の割り込みを認識する。**ソフトウェア割り込み**は、マイクロプロセッサを制御しているプログラムの特殊なインストラクションにすぎない。足したり引いたりといったあらゆる演算の代わりに、ソフトウェア割り込みによって、プログラムの実行がメモリの別のセクションのコードに一時的に移行する。

ハードウェア割り込みでも生じる結果は同じだが、制御は通常のデータの流れとは別の、特殊なハードウェア信号によって行われる。唯一の問題は、マイクロプロセッサが認識できる割り込みの数が、それほど多くない点だ。用意されている割り込み信号線は2本だけである。このうちの1本は「マスク不能割り込み」という特殊な場合に使用される線で、もう1本の線はすべての割り込みによって共用される。

IBMパーソナルコンピュータのアーキテクチャでは、様々なレベルの割り込みが考慮されている。それらの割り込みには優先順位があり、重要度の高い順に優先順位が高くなっている。

PCシリーズのコンピュータのハードウェア割り込みを構成するために、IBMは、「8259」割り込みコントローラを採用した。このチップは0番から7番まで番号がつけられた8個の割り込み信号を処理する。これらの信号は、番号が増えるに従って優先順位が低くなる。**表8-3**は、PC、XT、ポータブルPC、PC jrの各コンピュータの、割り込みの割り当て状況である。

表8-3　PC、XT、ポータブルPCの割り込み

割り込み番号	機能
NMI	パリティエラー
0	システムタイマ
1	キーボード
2	EGAディスプレイ
	PCネットワーク
	3278／79アダプタ
3	COM2
	PCネットワーク（代替）
	3278／79アダプタ（代替）
	SDLCコミュニケーション
	BSCコミュニケーション
	クラスタアダプタ
4	COM1
	SDLCコミュニケーション
	BSCコミュニケーション
	音声コミュニケーションアダプタ（優先）
5	ハードディスク
6	フロッピーディスク
7	プリンタ
	クラスタアダプタ（代替）

8個のハードウェア割り込み（このうち拡張バス上で使用可能なのは6個のみ）は、複雑なシステムにとっては不十分であることがすぐに判明したため、IBMはATにおいて、ハードウェア割り込みの数をほぼ2倍に増やした。これらの割り込みの配列、割り当て、相互作用は、PCの設計からはかなり変更されている。

割り込み数の倍増は、1個の割り込みコントローラチップにもう1個のチップ（別の8259A）をカスケード接続して、これをシステムのアーキテクチャに加えることによって実現されている。追加されたチップは、もう1個のチップを介してマイクロプロセッサに接続されている。PCまたはXTでは、マイクロプロセッサに最も近いチップが、本質的には1個の割込みコントローラとして動作する。ただし、その〝割り込み2″の入力は、PCのバスには接続されず、そのかわりにもう一方の8259Aチップの出力を受け取る。

〝割り込み2″の入力につながっていたバスの割り込みチャネルは、ATでは、2番目のチップの〝割り込み9″に接続されている。したがって、この割り込み信号は、実行されるまでに2つのコントローラの間を通過しなければならない。このようにATの〝割り込み9″は新しい番号が設定されていても、PCの〝割り込み2″とまったく同様に、同じ制御ラインで決定される同じ優先順位で機能する。

8259Aコントローラが個々の割り込みに与える優先順位は、入力の番号が小さいほうが優先順位が高いということに変わりはないが、2つのコントローラをカスケードに配列すると、普通とは異なる優先順位になる。まず、最も優先順位の高い信号は、1個目のチップの〝割り込み0″と〝1″に与えられる。ただし、2番目のチップが新たに〝割り込み2″にカスケード接続されているため、この接続

を経由する大きい番号の割り込みが1個目のチップの〝0〞、〝1〞に続く優先順位を得る。実際には、〝割り込み9〞(これは実際には、2番目の8259Aコントローラの〝割り込み1〞の入力であることを思い出してほしい)が、拡張バスで使用可能なすべての割り込みの中で、最も高い優先順位を得る。2番目のコントローラに接続されている残りの割り込みは、〝割り込み15〞まで昇順に高い優先順位を得る。最後に、1番目のチップに残っている〝割り込み3〞から〝7〞が、順にその次の優先順位を与えられる。ATの割り込みの割り当てを表8-4に示す。

使用可能な割り込みの数が15個(特別なマスク不能割り込みを入れると16個)では不十分な場合のみ、ATバスでは割り込みを共有するための規定が設けられている。しかし、IBMは割り込みの共有機能を搭載しておらず、これについてはアドイン装置の設計者にまかせられている。

表8-4 ATおよびAT互換機の割り込み

割り込み番号	機能
NMI	パリティエラー
0	システムタイマ
1	キーボード
2	2番目の割り込みコントローラ用のカスケード入力
3	COM2
	PCネットワーク(代替)
	SDLCコミュニケーション
	BSCコミュニケーション
4	COM1
	SDLCコミュニケーション
	BSCのコミュニケーション
5	LPT2
6	ディスクコントローラ
	ハードディスクドライブとフロッピーディスクドライブ
7	LPT1
	データ取得アダプタ
	汎用インターフェイスバスアダプタ
	音声コミュニケーションアダプタ(優先)
8	リアルタイムクロック割り込み
9	割り込み0Ahにリダイレクトされたソフトウェア
	PCネットワーク
10	予約
11	予約
12	予約
13	コプロセッサ
14	ハードディスクコントローラ
15	予約

割り込みを共有するには、割り込みの共有が可能になるようにデバイスのハードウェアを設計し、割り込みの結果として実行されるソフトウェアのルーチンのコードを書くだけではいけない。競合している可能性があれば、それらの割り込みを分類し、割り込みコールが衝突するのを調停し、割り込みの処理が終わったら、まとめてすべてを元にもどすプログラムコードを書く必要がある。このプログラムは、アセンブリ言語で書くと最もうまくいくので、自信のないプログラマができる仕事ではない。

IBMの最初のISAバスPS/2コンピュータは、全8個の割り込みしかサポートしないPCやXTの設計に戻った。ただし、IBMはこのコンピュータで、割り込みの共有を可能にしただけでなく、実際に活用もしている。〝割り込み1〟は、PCスタイルのコンピュータではキーボードに単独で割り当てられてられているが、モデル25と30では、キーボード、ポインティングデバイス(マウス)、時計の3つで共用されている。その後のISAバスPS/2は、全部のATの割り込みをサポートした。

真のPS/2の進歩は、**マイクロチャネルマシン**と**レベルセンシティブ割り込み**によって実現した。レベルセンシティブ割り込みは、それより以前のIBMパーソナルコンピュータで使用されていた〝エッジトリガ割り込み〟とは動作の仕組みが異なり、互換性もないが、割り込みを制御する回路はよく知られたものである。マイクロチャネルPS/2は2個の8259A割り込みコントローラを使用しており、これはほかのIBMのパーソナルコンピュータとまったく同じチップで、通常のATとまったく同じように配列されている。つまり、2番目の8259Aは、1番目のチップの〝割り込みチャネル2番〟にカスケード接続されているのだ。AT設計とマイクロチャネル設計は、共に割り込みの優先順位は同じである。

8259Aチップは、エッジトリガ操作とレベルセンシティブ操作の両方が可能である。マイクロチャネルコンピュータでは、レベルセンシティブモードでチップが初期化される。PS/2では、8059Aチップの外部にある回路によって、8059Aチップがエッジトリガーモードにセットアップされることを防止している。

ほとんどのEISAマシンを含め、最近のパーソナルコンピュータに使用されているチップセットには、割り込みコントローラ機能が組み入れられている。一般に、チップセットはATの割り込み構造をエミュレートし、2つのレベルの割り込みをカスケード接続している。ただし、割り込み構造を編成しなおして、カスケード接続を削除しているチップセットもある。

一般に、この変更では問題はまったく生じない。周辺装置やプログラムの中には、ATの正確な割り込み構造の存在に依存していて、これらの変更された設計に互換性がないことを顕示するものもあるが、それもわずかなものである。問題のあるデバイスや、ソフトウェアによってアクセスされる割り込みがATの規格に正しく従うように、割り込みを割り当てなおすことによって問題が回避できることも多い。つまり、パーソナルコンピュータの〝割り込み2〟か〝9〟を使用しているときにデバイスに問題があれば、そのデバイスを別の割り込みに割り当てることによって、問題を矯正できる場合が多いのである。

8.4　DMA

システム性能をスピードアップする最適の方法は、ホストのマイクロプロセッサを家事のような煩雑な仕事から解放することである。時間を多く消費する雑用の1つとして、コンピュータ内部でメモリのブロックを転送させる作業がある。たとえば、ハードディスク(データが記憶されているところ)から、コントローラを通し、メインメモリ(マイクロプロセッサがそのデータを使用する

ことができるところ)へ、まとまったデータを転送させるといったようなことである。メモリ転送の作業は、**ダイレクトメモリアクセスコントローラ(DMAコントローラ)**と呼ばれる特殊なデバイスで扱われる。

この専用チップには、転送されるデータの出発点の位置と、転送先のアドレスと、転送するバイト数だけ与えればよい。DMAコントローラがマイクロプロセッサからその情報を受け取ると、コマンドを使ってすべての退屈な作業を代行する。すべてのIBMのコンピュータで使用されているDMAコントローラは、完全にプログラム可能で、一連のI/Oレジスタによって操作される。

DMAの働きを使用すると、I/Oデバイスとメモリ間でデータを転送することができる。理論的には、DMAの働きによって、メモリ内部でのデータ転送も行えるはずであるが、この操作モードは、IBMの基本的なシステム設計ではサポートされていない。

IBMは、PCで初めて「8237A−5」DMAコントローラを採用し、マイクロチャネルPS/2モデルに至るすべてのパーソナルコンピュータがこれを使用している。チップ名の〝−5〟は、5MHzというチップの速度定格を表わしたもので、この速度はPCやXTの唯一のクロック(4.77MHz)にきわめて近い。DMA制御のもとで1バイト転送するには、5サイクルのシステムクロック、つまり合計で1,050ナノ秒必要である。

8237A−5は、これらのコンピュータに4個のDMAチャネルを与えている。これらのチャネルは、メモリ転送のためにそれぞれ独立して使用できる。PCの設計では、このチャネルの1つが、システムメモリのリフレッシュ用に使用されている。それ以外の3つのチャネルは、I/Oバス上で使用することができる。PCとXTのDMAは、1Mバイトの範囲にだけアドレスできる。この1Mバイトは、これらのシステムの最大メモリ容量であり、8ビットPCの拡張バスのアドレッシング範囲でもある。

ほとんどのIBM用のソフトウェアでは、同時に使用されるDMAチャネルは1つだけである。しかし、ハードディスクをフロッピーにバックアップするようなまれなケースでは、2つのチャネルが必要になる。このような場合、チャネルが2つあると、ハードディスクからデータを引き出して、即座にデータをバックアップデバイスに書き込むのに都合がよい。事実、多くのフロッピーディスクベースのバックアップシステムが、この目的で同時に2つのDMAチャネルを使用している。

通常はこの操作で問題は発生しないが、8237Aチップには欠陥があったため、最初のPCの10%から15%では、この機能が正常に動作しない。通常の場合でチップエラーが現われないのは、一般には同時に1つのチャネルしか使用しないからである(チップのテストでもエラーは発生しない)。

この問題を回避するには、不良の徴候に気づいたらチップを交換するしかない。とはいえ、このチップ交換の作業は容易ではない(不良チップははんだづけされている)。また、エラーが発生する可能性があるのは、少数のバックアッププログラムだけであることを考えれば、あえて難しいチップ交換の処置を行うほどの価値はないといえる。この場合のもっと適当な(そして実行しやすい)対策は、このチップはほかには問題を発生しないのであるから、不良のチップをこのまま使い続け、問題を生じるソフトウェアのほうをあきらめることである。

8237Aチップの設計は修正され、不良部分は取り除かれているので、この問題はほかのコンピュータでは起こらない。

ATや、ATアーキテクチャをベースにしたごく最近のパーソナルコンピュータのほとんどが、PCやXTと同じDMAチップである8237A−5を使用している。ただし、このDMAチップはもう1つチップを追加することによって機能が拡張されている。ATの割り込みコントローラのように、DMAコントローラチップの場合も、1個目のチップのチャネルが2個目のチップをカスケード接続するのに使用されている。1チップあたりチャネルは4個あり、このうちの1個はカスケード接続に使用されているので、システムに対するDMAの正味のチャネル数は7個である。これらのチャネルのひとつひとつは、80286マイクロプロセッサの16Mバイトの全範囲にアドレスできる。こ

の範囲は、ATの拡張バスのアドレッシング範囲でもある。これらのDMAチャネルのうち、4個は8ビット幅で、PCやXTのDMAチャネルとまったく同様に動作する。2個目のチップのこれ以外の3個のチャネルは、フル16ビット幅である。

ATでは、それぞれのDMAコントローラは、その速度定格内に収まるように、マイクロプロセッサの半分の速度で動作する。つまり8237A−5は、6MHzのATではは3MHzで、8MHzのATでは4MHzで動作するわけである。さらに、DMAのサイクルはそれぞれ5クロック必要なので、6MHzのコンピュータではそれぞれ1,666ナノ秒ずつ、8MHzのコンピュータでは1,250ナノ秒ずつかかることになる。8ビットモードでは、8MHzのATでも、実際のDMA転送はPCよりもATのほうが遅いことに注意しなければならない。ただし、16ビットモードでは、ATのほうがバス幅が広く、コントローラによって転送するデータが多くなるため、ATのDMA転送のほうが速い。

ATのDMA転送は、PCより速いがけっして十分とはいえない。実際、IBMが決定した速度は、ハードディスクのアクセスには不適当である。その結果、ATスタイルのシステムはハードディスクアクセスに対するDMA制御をあきらめ、代わりにI/O転送を使用している。つまり、マイクロプロセッサ自身がハードディスク転送を管理するのである。当然これにより、ハードディスクのバックアップ時に、2つのDMAチャネルを同時使用することによる問題は発生しない。

マイクロチャネルアーキテクチャではない最初のPS/2は、PCとXTと同じ8ビットのDMA設計を採用した。しかしこのコンピュータでは、8237A DMAチップは4MHzで動作する。さらに、それぞれのDMAのサイクルは、PCやXTやATのシステムで使用されている5サイクルではなく、6サイクルのクロックを必要とする。したがって、DMA転送の各サイクルは約1,500ナノ秒必要となる。ISAバスの新しいPS/2は、ATの設計を範としている。

IBMのマイクロチャネルアーキテクチャでは、DMAコントローラはシステムボード上の1個のVLSIチップに組み入れられている。その設計は、機能的にはATのDMAコントローラと互換性があり、2個の8237Aチップの働きをエミュレートすることができる。ただし、マイクロチャネルのコンピュータでは、余分にDMAチャネルが使用できるようになっており、その制御用に拡張コマンドセットを追加している。

マイクロチャネルのコンピュータでは、DMAのタイミングは基本的にはシステムクロックから独立している。一般にDMAの各サイクルは、システムボードメモリに対しては600ナノ秒、マイクロチャネル上の拡張ボードに対しては500ナノ秒になる。このほか、全体的な転送のセットアップに数百ナノ秒のオーバーヘッドが加わる（最大64Kサイクルだろう）。転送は8ビットか16ビット単位で行われる。これらを総合すると、マイクロチャネルのDMA転送速度はATの2倍以上になるので、新しいコンピュータは、ATよりも性能の点で相当の強みを持つことになる。

最初のマイクロチャネル設計では、DMAのアドレス可能範囲は24本のアドレスラインに制限されたため、結果としてDMAの転送範囲は16MバイトのRAMに制限された。PS/2のモデル90と95から、マイクロチャネルDMAは、フル32ビットのアドレッシングが可能になっている。

最近のパーソナルコンピュータは、チップセット内部にほかのシステムサポート回路と共に、DMAコントローラを統合している。これらは、カスケード接続された2個の8237A DMAコントローラをエミュレートしている。一般に、ほとんどのISAバスシステムのDMAシステムは、バス自身によって、アドレッシング範囲を16Mバイトに制限されている。EISAコンピュータでは、フル32ビットのアドレッシングが可能である。

8.5 このほかのサポート機能

あらゆるパーソナルコンピュータには、不可欠なサポートチップが1つある。**キーボードデコーダ**だ。この特定用途を持ったチップは、ほとんどのパーソナルコンピュータに搭載されているIntelの「8042」(あるいはその相当品)や、8042をエミュレートしているチップセットの一部として、キーボードとマザーボードを結んでいる。キーボードデコーダの基本機能は、キーボードが送信するシリアルデータを、パーソナルコンピュータが使用できるパラレル形式に変換することである。キーボードデコーダは、キーボードからキャラクタを受け取るたびに割り込みを発生して、パーソナルコンピュータにキャラクタが入力されたことを知らせる。また、キーボードデコーダは(パリティチェックを行って)キャラクタが正しく受け取られたかどうかを確認した上で、それぞれのキャラクタのスキャンコードを変換する。到着したキャラクタにパリティエラーが生じている場合は、キーボードデコーダは、自動的にキーボードに対して、そのキャラクタを再転送するように要求する。

シリアルのデータストリームでキーボードデコーダに送られる各キャラクタは、スタートビット、8ビットのデータ、パリティビット、ストップビットの計11ビットで構成される。これらビットは、キーボード内部で生成されるクロック信号に同期している。ATや、ごく最近のキーボードでは、キーボード内部のマイクロプロセッサをプログラムするために、キーボードデコーダからキーボードにデータを送れるようになっている(キーボードとスキャンコードは、第11章「入力デバイス」でより詳細に述べる)。

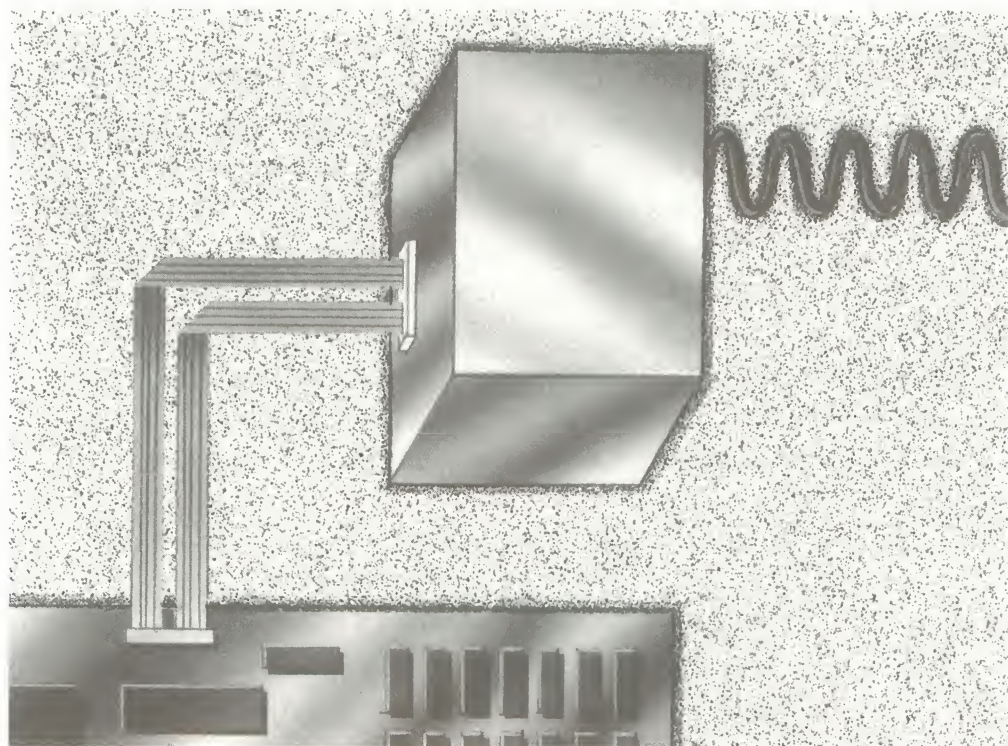
チップセットには、これ以外にも様々な機能が含まれていることが多く、おかげでパーソナルコンピュータ設計者の仕事は楽になっている。チップセットには、フロントパネルのインジケータライトの制御から、フロッピーディスクコントローラまで、すべての機能を組み込むことができる。実際には、どの機能をチップセットに内蔵するかは、チップセットメーカーの裁量である。多くの機能を追加すると、チップセットは複雑になり、コストも上がってしまうが、同時に、1つでも多くの機能をチップセットに詰め込めば、そのメーカーは、マーケティングで有利な立場に立てる。最近のチップセットメーカーは、ほとんどが、フロッピーディスク制御回路、I/Oポート(パラレル、シリアル、マウス、キーボード、ゲームポート)、エンベデッドコントローラ(IDE)ハードディスク用の端子を含んだ、フル装備の製品を提供している。中には、チップセットにビデオ(VGA)回路を組み入れているチップセットメーカーもある。

パーソナルコンピュータを設計するよりも購入しようと考えている人にとっては、今日のシングルチップPCの高度な集積化については、これといった利点を見出すことはないだろう。理論的には、1個しかチップを使用しないパーソナルコンピュータは、チップを3個使ったものより信頼性が高いといえるが、その信頼性の違いは、最終的にはシステムの寿命の違いということになるだろう。そしてその寿命の違いというのも、システムが壊れるときが、あなたの孫のそのまた孫の世代か、それとも、さらにその子供達の世代かといった程度のものだ。要するに、どちらにしても寿命は長く、信頼性は十分高いわけである。新しいパーソナルコンピュータを購入する際に、サポート回路について考慮すべき唯一重要な点は、I/Oと割り込みがほかの拡張製品と衝突する場合に、これを回避するためにマザーボード上のポート、ビデオ、フロッピーディスク制御回路を無効にできるかどうかということである(未使用のIDEポートは、何も接続されていない拡張コネクタとして扱われるため、IDEポートは無効にできなくてもかまわない)。サポートチップに対するこれ以外の論議は、同じ目的地までの異なる道順を説明しているようなものである。

システムは、サポート回路が適切な組み合せになっていなければ、単にパーソナルコンピュータ

として動作しないだけである。逆に、サポート回路が適切であれば、思い通りの、つまり、使用したいプログラムがトラブルなく走るパーソナルコンピュータになるのだ。

第9章

電源

今日実際に使用されているコンピュータは、すべて電子的に動作している。動き回る電子がコンピュータの思考の媒体である。電気パルスは、回路から回路へと移動し、論理チップによって瞬時にオンオフされる。回路は、電気パルスを組み合わせて論理的な判定を下し、別のパルスを送り出して周辺装置を制御する。コンピュータの信号は、電子がモニタのブラウン管の蛍光体に衝突して人間の目に光子が発射されたり、プリンタを駆動させる磁界が生成される時点まで、電子の形をとり続ける。

いうまでもなく、コンピュータを動作させるには電気の発生源も必要である。電力はコンピュータ回路の中で自然発生するわけではなく、外部の発生源から供給しなければならない。便利なことに、アメリカではほとんどすべての家庭に、電力を供給する配電設備があり、コンピュータもそこから電力を取り出せる。これこそ文明の恩恵だろう。

しかし、今日のコンピュータの半導体回路は繊細で、電力会社から供給される電気は直接使用することはできない。商用電力は発電所から家庭までの長旅に耐えるだけの強度とスタミナを与えられており、半導体回路にとっては強烈過ぎる。パーソナルコンピュータの回路には、安定した電力が必要で、慎重に制御しながら少しずつ電流を流さなければならない。商用電力をそのままで与えたら、コンピュータ回路はあっという間に黒焦げになって溶けてしまうだろう。

経済的な理由から、商用電力は交流（AC）という形で電力会社から家庭に送電される。電力会社がACを採用しているのは、発電が容易であり、また、低電圧から高電圧（長距離送電の効率を上げる非常に高い電圧）まで、電圧を簡単に変えることができるからである。この“交流”という名称は、その極性が1秒間に数十回も正と負で交互に変わる（アメリカでは60Hz、ヨーロッパでは50Hz、日本では関東50Hz／関西60Hz）ことからきている。

変化する電流にのみ反応する“トランス”を使えば、ACの変化する、あるいは振動するという性質を利用して、電圧（電気の駆動力の大きさ）を上げたり下げたりできる。電力の損失（長距離の送電線を抵抗に逆って電流が流れることによって発生する熱）は電圧に反比例するため、電圧が高いほど効率よく長距離を伝わる。トランスのおかげで、時には数十万ボルトにも及ぶ商用電力の送電に使用される高電圧を、家庭用の安全なレベル（日本では100V）まで下げることができるのである。

ACは、電力会社にとっては好都合だが、コンピュータ回路にとっては忌まわしいものだ。コンピュータ回路は、直流電源から取り出した電気の流れをオンオフしてパルスを作り出しているのである。ACを直接使うようなコンピュータを設計することも不可能ではないが、電圧が反転を繰り返すため設計は複雑になり、目隠しをしてローラーコースターに乗りながらナイフを使う方がまだ簡単なくらいである。このため、コンピュータ（ほとんどの電子機器も）ではACの代わりに直流（DC）が使用されている。DCは、電池のような一次電源から直接取り出される電力で、一定レベルを保つ（電池の場合、少なくとも消耗しない間は）単一電圧である。さらに、半導体回路にとっては、照明をつけたり掃除機を動かす比較的低い電圧でさえ致命的である。半導体回路の中にある要素は微細な距離で隔てられているが、高電圧は稲妻のようにこのわずかな距離を通り抜けて、その途上でシリコンを焼き焦がしてしまうのである。

家庭のコンセントから取り出した交流電流を、コンピュータが必要とする直流電流に変換する仲介者を**電源**という。パーソナルコンピュータの電源は、可能な限り純粋で、電池が生成する理想的な直流に可能な限り近い直流を作ろうと努める。電源の大きな使命はレギュレーション、つまり、電圧の変動を抑え、回路に必要な理想電圧にできる限り近い電圧を維持することである。

ラップトップやノートパソコンの場合は話は簡単だ。これらのタイプのコンピュータは、低電圧の DC を供給するバッテリ電源で動作しており、その電力は回路にとって最適な形でバッテリ内部で生成されるからである。とはいえ、純粋なバッテリ電力でもバッテリの充電の度合によって電圧が変動するため、これらのコンピュータでも、内部で電圧のレギュレーションが必要である。さらに、いずれはバッテリを充電しなければならないため、デスクトップコンピュータの電源とまったく同様に電気変換も行わなければならない。

9.1　電源技術

電子機器には、通常、**リニア電源**と**スイッチング電源**という2種類の電源が使用されている。リニア電源は、1920年代に初期のラジオが蓄電池から開放された時代にさかのぼる古い技術である。一方、スイッチング電源は、半導体電子回路のスピードと効率が要求されるハイテクに位置するもので、今日のコンピュータ電源市場では支配的な地位を獲得している。これらの2つの電源技術は、電圧のレギュレーションに使用される方法によって区別される。

リニア電源

電力会社から供給されるACから、調整されたDCを作るために、最初に使用された設計がリニア電源である。かつては、あらゆる電子機器に使用されていた唯一の電源がリニア電源だったという時代もあったが、スイッチング電源技術が使用できるようになると、リニア電源は〝リニア〟という呼び名とともにすたれてしまった。リニア電源は、半導体を使用する必要がないにもかかわらず、標準リニア(アナログ)半導体回路を使用していたからである。

リニア電源では、最初に、電線から流れてきた生の電気を、トランスによってコンピュータ回路が要求する電圧よりわずかに高い電圧に下げる。次に、一方向の電気の流れだけを通して逆方向の流れをふさぐという方法で、1個から複数個の整流器(通常は半導体ダイオード)によって、低電圧にされたACがDCに変換される。最後にDCは、**リニアレギュレータ**(電源で作られた電圧をコンピュータ回路が要求するレベルに調節するもの)を通して送り出される。

ほとんどのリニアレギュレータは、トランスが作った余分な電圧を熱に変換して吸収する仕組みになっている。これに対して、**シャントレギュレータ**は、電圧を下げるために余分な電力をショートさせて除去するもので、**シリーズレギュレータ**は、電気の流れに妨害物、つまり抵抗を置いて余分な電圧をふさぐ。いずれの場合も、レギュレータにはコンピュータ回路に供給される電圧より高い入力電圧が必要であり、その余分な電力は熱に変換される(つまり無駄になる)。リニア電源は、単に無駄にする電力量を変化させてレギュレーションを行っているだけなのだ。

スイッチング電源

これに代わるもう1つの設計方式が**スイッチング電源**である。スイッチング電源は、リニア電源より複雑さは増すが、効率が高く、リニア電源より低価格でさえある。いろいろな設計方法があるが、典型的なスイッチング電源は、まず、60Hzの商用電力を**トライアック**と呼ばれる電子部品を使用してオンオフし、もっと高い周波数のパルス(通常の人間の可聴範囲より高い20,000 Hzの帯域)に変換する。

スイッチング電源は、商用電力の周波数を高くすると同時に、デジタル技術の一種である**パルス幅変調**を使って電力を調整する。つまり、個々の電力パルスの継続時間を供給先のコンピュータ回路の必要に応じて変えるのである。パルスの幅はスイッチ回路が制御し、パルス幅が狭いほど出力電圧は低くなる。最後に、スイッチされたパルスは、トランスによってコンピュータ回路が要求するレベルまで電圧を落とされ、整流と濾波(フィルタリング)によって完全なDCに変換される。

スイッチング電源は、2つの方法で高い効率と低コストを実現している。まず、スイッチングレギュレーションは、熱に変わる電力が少ないため効率が高い。シャントレギュレータやシリーズレギュレータが電気エネルギーを放散する代わりに、スイッチングレギュレータはごく短い時間だが、電流を完全に止めるのである。加えて、高周波を使用するのでトランスとフィルタ回路を小さく簡易化でき、製造コストが低減する。きわめて実際的なこれらの理由から、今日のコンピュータのほとんどはスイッチング電源を使用している。

9.2 パーソナルコンピュータ用電力の必要条件

現代のコンピュータの論理回路は、ハイとローと称される2つの電圧レベルとしてコード化される、2つの異なる論理状態(真と偽、1と0)に従って、電圧を切り換えることにより動作する。すべての論理回路には、それぞれ独自の電圧規格がある。今日のほとんどのパーソナルコンピュータは、通常「TTL」と略して呼ぶトランジスタートランジスタ論理の要件を基本にして構築されている。

TTL設計では、〝ハイ〞は約3.2V以上の電圧をさし、〝ロー〞は約1.8V以下の電圧をさす。その中間は、論理的には定義されておらず、2つの有意の状態の間のあいまいさをなくすための電気的な保護帯域である。TTL論理回路には、信号のほかにも、論理判断という動作を行わせるために使用される定電圧の供給も必要である。要するに、この定電圧の供給によって、TTL論理回路のスイッチを動かす電気的な力が与えられるわけである。TTL回路は公称5Vで動作する。IBMのすべてのフルサイズのパーソナルコンピュータとPS／2に使用されている電源は、通常20A以上という豊富な容量の安定した5Vの電圧を供給できるように設計されている。

パーソナルコンピュータには、多くの場合5V以外の電圧も必要である。ほとんどのディスクドライブ(ハードディスクとフロッピー)のモータは、回転用に通常12Vが必要であり、また、パーソナルコンピュータの中には正負の両電圧の供給を必要とする特殊な回路もある。たとえば、シリアルポートは、アースを基準にして正負の間で電圧を変動させて論理状態を信号に変えている。したがって、少なくとも拡張ボードを使用できるものであれば、いずれのパーソナルコンピュータでも、−5Vと−12Vの電圧が必要不可欠である。

ラップトップタイプやノートブックタイプのパーソナルコンピュータの場合は、たいがいどの機種でも拡張ボードのスペースがないため、これらの電圧は不要である。たとえば、ノートブックコンピュータ用に設計された新しいタイプのハードディスクはほとんど、5V駆動のモータを使用しており、12Vの電圧供給を必要としない。

さらに、ノートパソコン用の最も新しい世代のマイクロプロセッサとサポート回路は、3.3Vの電圧で動作するように設計されている。電圧が高いほど電流の量が増え電力使用量が大きくなるため、ほかの条件がまったく等しければ、これらの低電圧回路は電力消費を抑えることになる。回路の動作電圧が5Vから3.3Vに下がったことにより、コンピュータの電力消費は半分になるわけだ(回路の電力使用量は、消費電流の2乗に比例する)。

電圧と定格

デスクトップタイプのパーソナルコンピュータの電源で一番厄介なことは、回路の可能な組み合わせのすべての要求を満たすために、4つの共通電圧をすべて生成しなければならない点だ。実際には、デスクトップコンピュータの電源は、4つの電圧(+5V、−5V、+12V、−12V)を、それぞれの要求量に応じて異なる電流容量(アンペア：A)で供給している。一般的にパーソナルコンピュータでは、多くの論理回路があるため、5V電力の容量が際立って多い(20〜25A)。ディスクドライブは2〜3台なので、それ用の12Vの電力は5Vより少なくてよい(4〜5A程度。ディスクドライブには負の電圧を必要とする部品がわずかにあるが、それらは1A以下である)。

ほとんどの電源は、その定格電力について、使用可能な総電力量をワット数で規定、公示している。電源の定格電力は、供給する4つの電圧それぞれと定格電流の積を取り、それを合計したものである(ワット数はボルト数とアンペア数の積に等しい)。IBMのコンピュータの電源は、63.5〜325Wで、互換機も同じワット数になっている。最近のほとんどのフルサイズコンピュータの電源は、200〜220Wである。

この定格電力は、電源がコンセントから取り出す電力量と同じではないことに注意しなければな

らない。すべての電子回路、特に電源は、「効率」という問題があり、リニア電源はスイッチング電源より効率が悪い。このため、電源はコンピュータ回路に供給するワット数以上の電力が必要で、そうでないと少なくとも最大出力を生成することはできない。ただし、パーソナルコンピュータの電源が定格出力で動作することはまれである。したがって、効率のよいスイッチング電源が消費する電力量は、通常の使用では公称定格以下が一般的である。たとえば、メモリ（仮に4Mバイトとして）と1台のハードディスクドライブに通常必要な量を満たす220Wの電源を持ったパーソナルコンピュータでも、動作中は一般に100W以下の電力しか使用しない。

パーソナルコンピュータ用の電源を選択する場合には、必要な定格はコンピュータに組み込まれたボードや周辺装置によって変わる。システムボードには15～25W、フロッピーディスクドライブには3～20W（新旧のタイプによって異なる）、ハードディスクには5～50W、メモリや多機能拡張ボードには5～10W必要である。パーソナルコンピュータに組み込まれるこれらを始めとした様々な要素の必要電力量を合計しても200Wであり、150Wでもシングルユーザーシステムなら十分まかなえる。

供給電圧

ほとんどの電源は、特定の電灯線電圧ならびに周波数で動作するように設計されている。米国では、商用電力は公称115V、60Hzで供給される。供給電圧と周波数が米国とは異なる国もあり、たとえば、ヨーロッパなどは230V、50Hz規格、日本では100V、50/60Hzの規格が普及している。

ほとんどのスイッチング電源はどの周波数でも動作するため、旅行する場合にも心配は無用だ（ただし、出かける前に自分の電源の定格をチェックしておくほうが確実だろう）。リニア電源は、スイッチング電源より周波数の違いに敏感である。リニア電源のトランスは周波数が低いほどリアクタンスも小さくなるため、60Hzのトランスを50Hzで使うと、設計量よりも多くの電力を引き出してしまう。その結果、電源はオーバヒートして障害を起こしやすく、場合によっては壊れてしまうのである。ほとんどのパーソナルコンピュータのスイッチング電源は、背面パネルにある小さなスイッチで、動作電圧を選択できるようになっている。コンピュータのスイッチを入れる前に、動作電圧スイッチが使用できる電力に対して正しい位置にセットされているか確認する必要がある。

海外を旅行する場合は、電圧を調節するには必ずこの電源スイッチを使用して、安物の電圧変換器を使ってはいけない。この種の変換器は、ほとんどが入力波形の半分をクリップするだけの整流器である。電球を灯すだけならそれでも問題ないが、電子回路には致命的となる場合があり、コンピュータが壊れることもあるため、けっして勧められる方法ではない。

XTモデル286以降に発売されたIBMのコンピュータと少数の互換機は、普及している電圧と周波数に合わせて自動的に自己調節を行うユニバーサル電源を装備している。このような電源を装備したコンピュータは、スイッチを入れるだけで正しく動作する。一部のユニバーサル電源は、どの供給電圧にも対応できるが、2つの主要な電圧規格しかサポートしていない電源もあるので注意する必要がある。169.35 V地域に行く可能性などまずないのなら、この2種類の電圧にしか対応できない電源でも、海外で十分に使用できる汎用電源といえよう。

Power−Good信号

IBMの電源は、コンピュータが動作するのに必要な電圧と電流に加えて、Power−Goodという信号を出す。この信号の目的は、電源に関してはすべて良好で、正常に動作できることをコンピュータに知らせることで、この信号がないとコンピュータはシャットダウンする。Power−Good信号によって、コンピュータが異常電圧（たとえば電圧降下など）で損傷をきたすことがないように防いでいるわけである。電源に完全な障害が発生しているときだけでなく、接続不良やPower−Good出力の失敗でも、同じようにパーソナルコンピュータの動作が停止する。

9.3 ポータブルコンピュータの電力

ほかのタイプのパーソナルコンピュータ同様、ラップトップタイプやノートブックタイプのマシンにとっても、電気はその動力源である。ただし、このようなタイプのマシンでは、電力の発生より消費が重要な要因になる。コンセントに接続しなくてもすむように、ポータブルコンピュータには〝バッテリ〟という内蔵電源が搭載されている。この場合、落雷や電気料金未払いの心配はないが、重力というもっと面倒な相手が現われる。使用できる電力はバッテリによって決まるが、重量によってそのバッテリのサイズもある程度の値に制限される（この適切な値は、空港のコンコースの長さと旅行時間に反比例して変わる）。コンセントから取り出せる無尽蔵の電力供給と比較すると、1ポンドのバッテリが供給する電力量は微々たるもので、実際、使用可能なエネルギーの総量は約5Whである。

したがって、ラップトップやノートパソコンの電源では、電圧調整よりも電力管理が最も重要になる。バッテリの電力はもともと理想に近い（正しいバッテリを選択すれば、コンピュータ回路に最適な、平滑で安定したDCが低電圧で得られる）。レギュレーションは最小限ですみ、高電圧が侵入してコンピュータが破壊されるのを防止する保護回路や、マシンの動作を保証するために、バッテリの電圧出力が著しく低下する前に警告を出す定電圧検出回路のみである。バッテリ電圧は完全に予測可能なので、電力を浪費するシャントレギュレータやシリーズレギュレータは不要である。バッテリ電圧は単に充電量が減少するに伴い弱くなっていくからである。

ポータブルコンピュータでは、電圧調整より電力管理が重要な課題である。システム内部の回路は、どの資源が使用されているか、あるいはそれよりもどの資源が使用されていないかに重点を置いて監視している。使用されていない資源はシャットアウトされる。たとえば、ディスプレイ画面のバックライト、ハードディスクの回転、さらに一部のシステムはマイクロプロセッサ自身もシャットダウンするのである。

ほとんど例外なく、ラップトップやノートパソコンは、バッテリを充電できるバッテリチャージャを装備している。基本性質と動作の点で、バッテリチャージャは電源に少し手を加えたようなものである。バッテリチャージャも、商用ACが入ってきて、（通常は）低電圧DCが出てくる。出力電圧は、システムのバッテリ出力に近いが、例外なく多少高めになっている（バッテリを完全に充電するのに必要なため）。

ほとんどの場合、バッテリチャージャ／電源は、ラップトップ外部の独立したユニットになっている。通常は、この中にはトランス以外の部分も含まれているが、大抵はこの外部電源全体を、**トランス**とか**パワーブリック**と呼んでいる。すべての外部バッテリチャージャが、重いトランスを使ったリニア設計を使用していれば、装置は実際のレンガ並みのサイズになるので、パワーブリック（レンガ）の名前もふさわしいといえるが、現在の外部電源はスイッチング設計を使用しているため驚くほど小型軽量である。

メーカーは、本体を軽量化し、マシン内部から高電圧をなくしたいため、外部電源設計のほうを好む。ただしこの場合、本体と別になっているために、置き忘れてしまう可能性があるほか、不意に外れてしまう可能性のある接続部分が存在するという弱点もある。

外部電源は、商用電圧を適度なレベルに下げてDCに整流するだけで、電力管理機能は、すべてパーソナルコンピュータ内部に含まれている。

ノートパソコンやラップトップコンピュータの外部バッテリチャージャ／電源には、これといった規格は存在しない。メーカーごとに、また同じメーカーのマシンでもモデルごとに、独自の設計を使用しており、出力電圧、電流、極性はまちまちである。代用できる汎用電源は、コンピュータの使用電圧と電流量に一致しているものだけであ

る。極性については、正しいか間違っているかの2者択一で、万一極性を間違えると、システムの多くの半導体が壊れてしまうため、汎用電源を使用する場合は必ずその極性を確認する必要がある（ほとんどのパーソナルコンピュータでは、極性の問題はつまるところ、電源の同軸プラグの真ん中と端のどちらがプラスの端子かということになる）。また、シガレットアダプタもあり、多くのラップトップタイプやノートブックタイプのモデルを、自動車の中によく見られる、標準のシガレットジャックに接続することもできる。この場合も、特に電圧の極性には注意して、そのアダプタが使用するコンピュータに合っているかどうかを確かめなければならない。

ほとんどの外部電源は、単一の電圧で動作する設計になっている（本当の意味で汎用といえるものは少ないため、〝汎用〟という名前にだまされてはならない）。つまり、あるポータブルコンピュータを接続して充電できるのは、地球上のどちらか半分の地域に制限される。117V地域から230V地域に移動する場合は、もう1つ高価な外部チャージャが必要になる。旅慣れた人は、電圧の違いに対処できるように、電圧変換器を携行することが多い。変換器にも、ラップトップのチャージャに使用できるタイプと、チャージャを壊しコンピュータまでも壊してしまうタイプの2種類が存在することに注意しなければならない。

整流式変換器

最も単純かつ小型軽量で低価格な変換器は、AC波形の半分を阻止して実質的に電圧を半分にカットする単なるダイオード（整流器）である。この変換器の場合、波形が半欠け状態の電気が供給されるため、パーソナルコンピュータや内蔵電源のような重要な電子回路に損傷を与える可能性がある。電気ヒゲ剃りやヘアドライヤには使用できるが、パーソナルコンピュータにはけっして使用してはいけない。

トランス

異なる仕組みを持った変換器として、単純なトランスがある。すべてのトランスと同じく、この手の変換器には重いという欠点がある（たかが1泊旅行のために持ち歩くには無理がある）。また、比較的値段も高い。ただし、正常なACを出力するので、パーソナルコンピュータに使用しても問題はない。もちろん、ラップトップコンピュータと一緒に電源と変換器も運ばなければならないわけで、この2つがマシン本体より重くなる可能性もある。結果的には、もう1つ別のバッテリチャージャ／電源を買った方が賢明だろう。

9.4 バッテリ

小学生の頃を振り返ると、授業で、レモンを半分に切ってそれに銅と亜鉛の棒を差し込んで電気の謎をかいま見る実験をしたことを思い出すことだろう。無人島に取り残されて、ラジオと切れた電池、レモンと銅と亜鉛の棒しかない場合には、この思い出も役に立つかもしれないが、DOS1.1のパーソナルコンピュータではあまり役に立ちそうもない。それでも、この興味深い実験は、バッテリ技術の説明の前書きとしては役に立つ。本節に先立って、この実験を思い出して欲しい。

バッテリ技術

レモンの実験は、化学反応によって電気エネルギーを生み出す1つの方法を示したものである。2つの金属棒は電極の役割を果たす。一方の金属棒が酸化という化学反応で電子を放出し、他方の金属棒が還元という化学反応で電子を取り込む。つまり、電子は一方の電極（陽極）から他方の電極（陰極）に移動する。レモンに含まれる酸は、電子がイオンの形で交換される媒体（電解液）の役割を果たしている。この3つの要素を組み合わせると、

18世紀の化学者ルイジ・ガルバニにちなんで名付けられた**ガルバニ電池**と呼ぶ電気発生装置が形成されるのである。1個のバッテリは、このガルバニ電池をつなぎ合わせて作られている。

陰極と陽極を配線でつなぐと、陰極から陽極へ電子が移動する。電子の移動が電流であり、この電子の移動方向と逆向きに電流は流れることになる。この電気の流れの途中に、たとえばパーソナルコンピュータなどを入れると、電気がそこで作業を行うのである。

すべてのバッテリの動作原理は同じである。2つの異なる物質(厳密にいえば、通常〝E0値〟と略される酸化電位が異なる物質)が陽極と陰極になり、3つ目の物質が電解液として2つの物質をつなぐ。使用される3つの物質の種類も様々で、これにより多種多様なバッテリ技術が実現される。使用されている物質によって、貯蔵密度(一定のサイズや重量のバッテリに貯蔵できるエネルギーの量)と公称出力電圧が変わってくる。

バッテリは2種類に大別される。**一次電池**は、片方もしくは両方の電極が化学変化を起こし、(金属を再製錬するような)複雑な処理を施さない限り元の状態に戻らない、充電不可能な電池である。一方、**二次電池**(**蓄電池**)は、電気を与えることにより可逆的変化を起こす仕組みを持ったもので、充電可能である。この電池が電子をもとあった場所に戻すことができるのである。

パーソナルコンピュータにおけるバッテリの用途

2種類のバッテリは、パーソナルコンピュータ内部でも用途がまったく異なる。今日のほとんどすべてのパーソナルコンピュータでは、一次電池はマシン内部のどこか見えないようなところにあって、パーソナルコンピュータを使用していない間も時刻クロックを動かし続ける小さな電気を供給している。また、この同じ電池で、システムの構成情報を格納する数バイトから数KバイトのCMOSメモリも保持される。一方、蓄電池は、この世に存在するほとんどすべてのラップトップとノートパソコンの駆動用電源として使用されている(蓄電池をクロックとCMOS用に使用しているシステムも少数ながらある)。

世界中で最も普及しているバッテリは、亜鉛とカーボンの電極を使用した一次電池である。この**亜鉛/カーボン電池**(かつては**ルクランシュ乾電池**と呼んだが、懐中電灯用の電池といった方が分かりが早いだろう)では、亜鉛(電池の容器)が陽極、中央の黒鉛棒が陰極になっている。電解液は、化学物質の混合物(二酸化マンガン、塩化亜鉛、塩化アンモニウム)である。**アルカリ電池**は、電解液を構成する化学物質を変えて、貯蔵密度と寿命を増加させたものである。ほかにもいくつかの物質が特殊用途電池に使用されているが、金属リチウム以外はパーソナルコンピュータ用としては普及していない。

一方、世界中で最も普及している蓄電池といえば、自動車のスターター用に使われている**鉛蓄電池**である。この鉛蓄電池は、鉛(陽極)と二酸化鉛(陰極)を希硫酸の電解液に浸したもので、重いだけでなく、希硫酸という腐食性の液体がどこにでもこぼれてしまう可能性があるため、液漏れしないような密封構造のものもできている。

ゲル状電解液を使用した鉛蓄電池(簡単に**ゲルバッテリ**と呼ばれることが多い)は、この問題が軽減される。このバッテリの電解液はゼラチンのようなコロイド状になっており、漏液の心配が少ないのだ。ただし、ほとんどの鉛蓄電池と違って、ゲルバッテリは充電完了後に低電流充電を連続して行うと劣化する(多くの鉛蓄電池は、このような〝トリクル〟充電で完全な容量を持続するのである)ため、充電完了後に自動的にオフされる特殊なチャージャが必要になる。

家電製品で最も普及している蓄電池は、**ニッケル・カドミウム電池**(略して**ニッカド電池**と呼ばれることが多い)である。この電池は、名前が示すようにニッケル製とカドミウム製の電極を使用する。最大の特長は、500回の充放電に耐える点である。また、比較的軽量でエネルギーの貯蔵密度が高く、トリクル充電にも耐性がある。欠点は、カドミウムが有毒である点である。

ニッケル水素電池は、ニッカド電池の特長を維持しながら、有害なカドミウムをなくした電池である。その上、同じセルに約20%も多くのエネル

ギーを貯蔵できる。ただし、比較的新しい製品であるため、ニッカド電池より割高になっている。

■ クロック用電池

1984年のAT発売以来、ほとんどのパーソナルコンピュータには、時刻クロックがシステムボード回路に搭載されている。正確に時間を刻むために、このクロックはコンピュータの電源を切っても動作し続けなければならない。このクロック用に必要な電源は、小型電池である。

クロック用の電力を供給する方法は、メーカーによって異なっている。IBMは、システムユニットの裏側から取り外しができる、プラスチックケース入りの**リチウム一次電池**を使用して、この先頭を切った。最初のPS／2以後は、電池の搭載場所は内部に移動したが、種類はリチウム電池のまま変更していない。一部の新型のマシンはDallas社のクロックモジュールを使用しているが、これも内蔵リチウム電池を使用している。

リチウム電池にはいくつかの特長がある。エネルギー密度が高く、サイズ(重量および容積)当りの電力量が多い。さらに、自己放電量が小さく、従来の亜鉛／カーボン乾電池が使用しなくても1年位で寿命が切れてしまうのに対し、リチウム電池は10年以上もの長期保存に耐えられる。以上の特長から、リチウム電池はクロック用電源として最適なのである。今日の半導体クロックはほとんど電力を消費しないため、電池と回路が正しく適合していれば、未使用の場合の寿命と変わらないほどの連続使用も可能である。

リチウム電池の欠点は、値段が高いことと、売られている場所が限られている点である。また、これに使用される物質の特性により、セル当りの出力電圧が3Vなので、1個のリチウム電池では標準的なデジタル回路の動作には電圧が低すぎ、2個使用すると高すぎることになる。

もちろん、設計によって過電圧を取り除くことは可能であり、実際にそのような処理が行われるのが一般的である。ただし、設計が悪いと、使用される電力量よりロス分の方が多くなり、電池の寿命が短くなる。パーソナルコンピュータの中には、この問題を抱えていて、電池の寿命が極端に短いものもある。

Dallas社のクロックモジュールの利点は、回路と内蔵電池を適合させて寿命の最適化が図られているため、10年もの寿命があることである。一方、ほとんどのモジュールがシステムボードにはんだ付けされているため、モジュール交換のためには修理ショップに持ち込まなければならないという欠点もある。

多くのIBM互換機メーカーは、リチウム電池の高価格と入手の面倒を避けるために、4個のAA電池が入れられる電池ケースを搭載している。この場合も、亜鉛／カーボン電池やアルカリ電池1個は1.5Vの出力電圧であるため、4個では6Vになってしまい、設計の不適当なコンピュータでは、リチウム電池を2個使用した場合と同じ問題を抱えることになる。それに加えて、電池の寿命も短い。3個のAA電池の出力電圧は4.5Vなので、ほとんどのクロック回路では支障がなく、電圧のレギュレーションによってロスが発生することもない。普通の電池を3個組み合わせて、ほとんどのシステムボードに合うコネクタを付けた特殊なパーソナルコンピュータ用のアルカリ電池モジュールも販売されている。このような電池を搭載できる設計のシステムボードで使用するピンコネクタは、事実上の標準規格に従っている。

■ ラップトップパソコンとノートパソコンの電源

ポータブルコンピュータは、バッテリに対して互いに相容れない2つの要求を持っている。つまり、できるだけ寿命が長く、できるだけ多量の電力を供給しなければならない一方で、できるだけ小型軽量でなければならないのである。両方の要求を同時に満たすことは不可能であり、ノートパソコンやラップトップタイプのコンピュータの電池は妥協の産物になっている。

ラップトップコンピュータには、これまで3種類の蓄電池(鉛蓄電池、ニッカド電池、ニッケル水素電池)が使用されてきた。エンドユーザーの立場からは、極端に重くなく、それほど頻繁に寿命が尽きなければ、どの種類の電池であってもかまわないはずだが、ラップトップやノートパソコンの

世界では、貯蔵密度が高いことと危険性が少ないという理由で、ニッケル水素電池の人気が高まっている。

電池の種類もさることながら、コンピュータの電池では取り扱いが重要になる。パーソナルコンピュータでは、電池を正しく取り扱うことによって、充電時間も交換するまでの期間も長くなるのである。

初期のニッカド電池は、その**メモリ効果**で悪名の高い電池であった。ニッカド電池は充放電した量を記憶するため、しばらくある量の充放電を繰り返すと、その量しか放電しなくなるのである。通常の解決法は、たとえば、毎月定期的にニッカド電池を深く放電させて、このメモリ効果を取り除くことだろう。このように深く放電させるための特殊なユーティリティもある（Traveling Software社の「Battery Watch」にはそのユーティリティが入っている）。

ただし、深く放電させるといっても完全に放電させるわけではない。完全に放電させると、電池に損傷を与えてその寿命を短くしてしまうのである。ニッカド電池は、1V以下（正常な出力は1.2V）に放電されると損傷を受ける。ラップトップコンピュータでは、電池の電圧が下がりすぎる前にオフになる設計になっており、放電ユーティリティもそれ以上放電させることはないので、ニッカド電池を安心して使用することができる。ただし、システムの電池を放電させるときには、決して短絡させてはいけない。電池がだめになるだけでなく、発火する危険も出てくるからだ。

今日のノートパソコンやラップトップコンピュータのメーカーは、ニッカド電池のメモリ効果の問題は、電池設計が改良されているため（新しい設計のニッケル水素電池ではこの問題はまったくない）、心配には及ばないといっている。念のためにということで電池を完全放電させることも可能だが、単なる放電のみを目的に放電することのないよう注意しなければならない。充放電の可能な回数には制限があり、無駄な放電によってその寿命が1回分減ってしまうことになるからだ。システムの電池が消耗しかかっており、いずれ充電することが決まっている場合に限り、放電ユーティリティは使用すべきである。

ほとんどのパーソナルコンピュータの電池とバッテリチャージャは、ずっとコンセントに接続したままでも電池を傷めないような設計になっている。実際、一番良い方法は、完全充電後もパーソナルコンピュータをコンセントにつないだままにしておいて、マシンを携帯する必要がある場合のみチャージャから外す方法だ。トリクル充電は電池を傷めない（実際に、電池が充電されると、バッテリ充電回路がオフになる）し、つねに携帯可能な状態にしておくことができる。

電池の安全性

電池が発生できる最大電流は、内部抵抗によって制限される。亜鉛／カーボン電池は、比較的抵抗が高いため発生する電流は小さく、数百mA程度である。鉛蓄電池、ニッカド電池、およびニッケル水素電池は、内部抵抗が極めて低いため、大量の電流を生成できる。このような電池の端子を短絡させると、短絡に使用した物（配線、金属片、コイン）は熱抵抗によって熱くなる。たとえば、完全充電状態の自動車のバッテリの端子をレンチでつなぐと、レンチを溶かすこともできる。あるいは、ラップトップコンピュータに使う予備のニッカド電池は、端子を短絡する物を不用意に触れさせてしまうと、火災の原因にもなりうる。電池の端子には何も触れないように注意しなければならない。

電池の充電中は、電気分解と呼ぶプロセスが内部で発生する。高校の化学の実験で行ったように、電気分解のプロセスの中では、普通の水は電気によって酸素と水素に分解される。水素は爆発性の気体、酸素は酸化させる元素である。電池を充電すると、両方の気体が生成する。通常は、その気体は（爆発など）何ごとも起こらないうちに電池に吸収されるが、（電圧が高すぎる結果として）充電電流が強すぎると、気体が蓄積されていくことがある。一次電池を充電した場合も、同じことになる。その結果、電池は内部圧力に耐えきれず破裂したり、気体の燃焼によって爆発する。電池は完全に壊れてしまわないまでも、寿命はかなり短くなる。要するに、ラップトップ用バッテリ専用の

チャージャだけを使用するようにして、勝手に早急なまねはしないことである。

ほとんどすべての電池には、なんらかの有害物質が含まれている。亜鉛－カーボン電池にもマンガンが含まれており、これは有害物質と考えられている。いずれの電池も環境を汚染するため、正しく廃棄しなければならない。一部のメーカーは、電池をリサイクルする体制を整えつつある。この手段を利用して、是非リサイクルが活発になるようにしたいものである。

9.5　デスクトップコンピュータの電源

ほとんどのパーソナルコンピュータは、電源を単体の構成部品として収容し、シャシーにねじ留めして電気を必要とするシステムボードやほかの装置にプラグ接続されている。電源自体は、熱を逃がしながら指などは入らないようになった通風孔がいくつもあいた金属ケースに収められている。

実際、独立型で保護ケースが付いたパーソナルコンピュータ用の電源は、IBM設計の主な長所の1つであった。人命に係わる電圧、特に商用電圧は、電源のケースの中に隠され、危険のない低電圧だけが、パーソナルコンピュータのシステムボードや拡張ボード上でアクセス可能、つまり手で触れることができる。システムが動作中でも、マシン内部のボードはつかむことができ、感電の心配はない（高熱の半導体に触れればやけどをするし、リード線の先で指を刺すことはあるかもしれないが）。

だからといって、動作中のコンピュータのスロットからボードをつかみ出すことが、コンピュータの回路にとっても安全だというわけではない。拡張ボードを引き出す場合には、瞬時であってもスロットコネクタのピンに触れる可能性がある。結果として、拡張ボード（およびマザーボード）に予期しない電圧が加わり、回路を壊すこともある。特にEISAシステムの場合は、新式の拡張コネクタを使用しているため、その可能性が高い。要するに、スイッチが入ったままで、拡張ボードの抜き差しは行わないことだ。うまく行く場合も多いだろうが、たった1回の失敗であなたの努力は水の泡となってしまう。

ほとんどのパーソナルコンピュータでは、電源は副次的な役割も果たしている。電源回路を冷却するファンは、システムの電源以外の部分の通風も行う。同時にこのファンは、パーソナルコンピュータの動作中のノイズの発生源でもある。通常、電源のファンは排気用で、空気を外に吹き出す。空気は、システム内部の空間から電源の開口部を通して電源に吸い込まれる。このため、パーソナルコンピュータに吸い込まれた空中のほこりが、電源を通って排気される前に、システムボードに蓄積してしまうという欠点もある。

電源の選択

パーソナルコンピュータ用の電源のパッケージの寸法には、2つの標準がある。最初のPCおよびXT用と、フルサイズAT用の2つである。AT用の電源は、PC／XTモデルより大型で、寸法は、高さが5.875インチ、幅が8.375インチ、奥行きが5.875インチである。コンピュータのシャシーの中にシステムボード用のスペースを空けるため、インボードの底部の隅には切り込みが入っている。PC／XT用の電源の寸法は、約4.75×8.375×5.5インチである。

AT電源が、より小型のXTサイズのシャシーに入らないのは当然だが、小型のXTサイズの電源が、ATのシャシーに収まらないのは意外であろう。ねじの位置やほかの機能部品がまったく異なるため、小さくても大きいケースにうまく収まらないのである。

ほかのシステム設計の違いも、電源交換作業を困難にしている。パーソナルコンピュータメーカーが独自のシステムを設計するたびに、承認された標

準から遠のいていく。大手メーカーのCompaq、Dell、IBM、NEC、Tandy、Zenithなどは、通常、電源をカスタム設計のケースに入るように設計しなおしている。つまり、大手メーカーは2つの標準型の電源パッケージよりも、目的にあったほかのパッケージの方を優先させているのである。結果として、大手メーカーのシステムの電源故障は、標準サイズの電源を使用する中小メーカーの場合より高くつくことになる。メーカー独自の設計の電源は、価格が400ドル以上もする。一方、標準型の電源は、50ドル以下で売られている。

サイズのほかにも、電源には2つのランクがある。汎用クラスと高級クラスである。汎用電源は、必要な電圧と電流を供給すること以外には何の特長もなく、発音することも想像することもできないような極東のさる地域で製造されている。これらの電源は50ドル以下という低価格だが、ともかく短期間は動作する。実際、安価な互換機にはこの手の電源が搭載されていることが多い。

高級クラスの電源メーカーは、汎用クラスより絶大な利点を約束する。大きい電力量、少ないノイズ、優れた通風などである。高級クラスは高価な代わりに、高い保証を約束する。このクラスの電源が必要かどうかは、使用者側の気持ち次第である。ほとんどのパーソナルコンピュータは、低価格の電源で十分動作する。静かなファンはわずらわしくなくてよいだろうが、あなたのパーソナルコンピュータが気温37度の日にトラブルなく動作するのなら、それ以上に優れた通風性能は不要だ。要するに、安らぎや静寂は値段に代えがたいかもしれないが、実際の決断は人それぞれということになる。

電源の搭載

標準サイズの電源は、搭載方法も標準になっている。電源のクロムめっきされた大きなケースは、コンピュータの背面パネルに4個のねじで固定される。また、背面パネルに電源の重さが掛からないように、電源正面はコンピュータのシャシーから出た爪で固定される。

コンピュータの上カバーを外して、電源を見つけると、背面パネルの4個のネジ位置が電源の裏側の4つの隅にほぼ対応していることが分かる。コンピュータを背後から見ると、4個のねじは背面パネルの左半分に、長方形の形に配置されている(図9-1参照)。これらのねじを外すと、電源はシャシーから少し外れるが、完全には外れない。

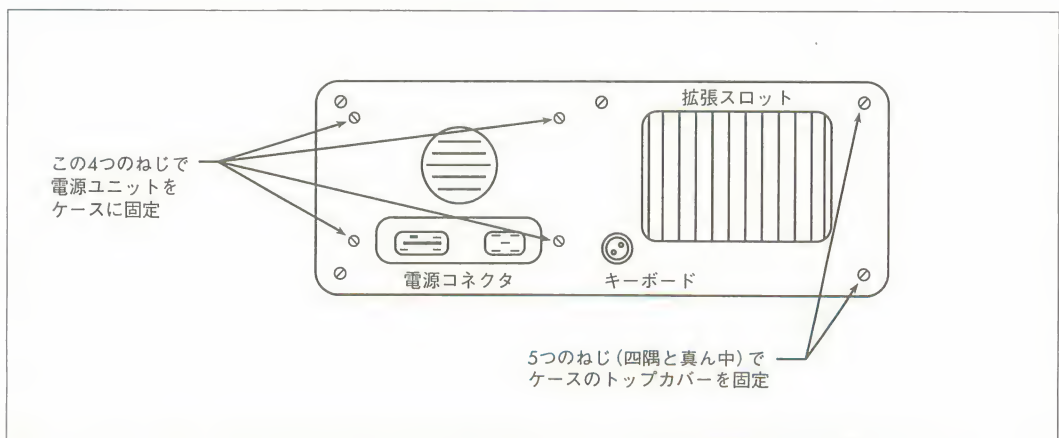



図9-1 電源の背面パネルのねじ

電源を取り出す際には、始めに各ディスクドライブとシステムボードから電源コネクタを外す。続いて、電源ボックスをディスクドライブの背面に軽く当たるまで1インチ程度前方にずらす。これで、電源はシャシーから持ち上げることができるはずである。

新しい電源や交換用電源を組み込むのも同じくらい簡単だ。まず、電源スイッチがシャシーの上側に空けられた切り込みから飛び出すように電源を向ける。次に、新しい電源を古い電源があったスペースに真上から下ろす。

新しい電源をねじ留めする前に、ドライブに軽く当たるまでいったん前面に出す。次に、持ち上げずに上から押さえたまま、背面パネルの方向に押し戻す。この前後の移動を行うと、コンピュータのシャシーの2つの爪が、電源底部のスロットにはまって電源を固定する。続いて電源コネクタを接続する。

最後に、電源をねじ留めして固定する。ねじはそれぞれ完全に締める前に、4本とも2回転位締めるだけにして、電源をずらせるように余裕を持たせて、4個のねじ穴がうまく合うようにするとよい。1個のねじを完全に締めつけてしまうと、残りの穴がシャシーの穴と合わないことがある。4個とも穴にそろったら、4本すべてを締める。

電源の接続

IBM標準であるPC、XT、およびATの電源からは、いずれも2種類のコネクタが数本出ている。2本はシステムボードに接続し、残りはテープドライブやディスクドライブと接続するものである。

大容量記憶装置用電源

テープドライブとディスクドライブ用のコネクタは、これらの装置の動作用に5Vと12Vを供給する。コネクタには2つのサイズがあり、極性があるため間違って接続できないようになっている。一方のドライブ用電源コネクタは、断面がほぼ長方形で、2か所の角が削ってあり、ドライブのジャックに決まった向きにしか差し込めないようになっている。多くの3.5インチドライブで使用されている新型の小型電源コネクタは、正しい方向にしか差し込めないように極性を示す突起がある。どちらのドライブ用のコネクタでも、合わない場合は無理に押し込んではいけない。180度回転させてからやり直せば、うまく差し込めるはずだ。図9-2に、両方のタイプのドライブ電源コネクタと各ピンから供給される電圧を示す。

PCや一部の互換機は、電源コネクタに関しては断固とした節約主義で、2個のコネクタしかない。3個以上のドライブに電力を供給するには、電源線を2つに分ける**Y型アダプタ**が必要になる。適当なコネクタがあるなら、手製でこのケーブルを作ってもよいが、ドライブメーカーの既製品を買った方が簡単だし、むしろ安上がりである。しかし、標準タイプの電源は、標準の2台のフロッピー以外に複数の大容量記憶装置を動作させるには容量が足りないため、もっと多量の電流を供給する電源と交換するほうが、さらによい方法といえる。

システムボードの電源

標準タイプの電源の2個のシステムボード電源コネクタは、同じものではない。それぞれが担当する電圧が違うのである。ほとんどのパーソナルコンピュータ用電源では、これらのコネクタにはそれぞれ〝P8〟と〝P9〟というマークが付いている。P8の方は、システムボード上で通常シャシーの背面近くにある方のコネクタに接続する。

すべてのシステムボードが、ほとんどの電源に標準装備されている2個のバーンディコネクタに合わせた形をとっているわけではない。PS／2は多くの場合(つねにではない)、2つのコネクタを1つのコネクタにまとめたものを使用している。ほかのシステムボードメーカーは、これとはわずかに異なるモレックスコネクタを使用している場合がある。残念ながら、バーンディコネクタとモレックスコネクタは、完全には互換性がない。

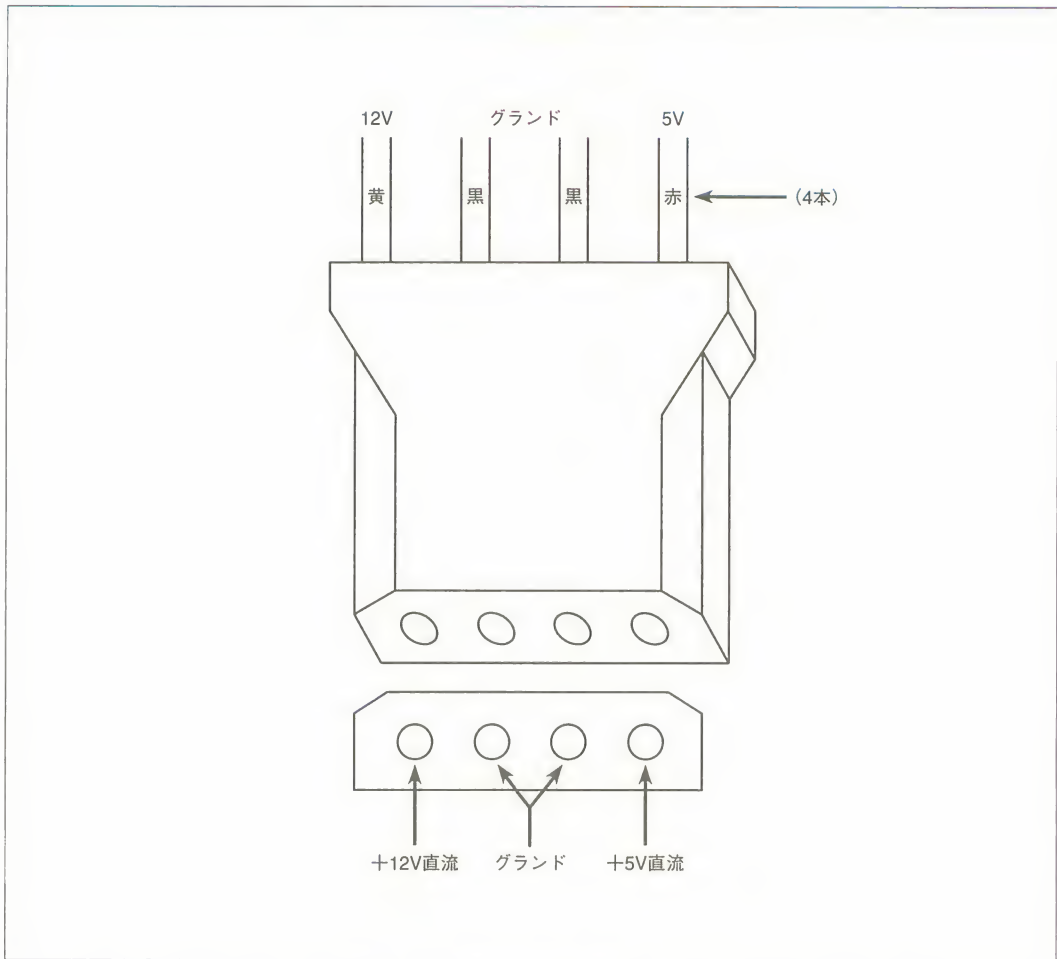



図 9-2 大容量記憶装置用電源コネクタ

2つのタイプのコネクタの相違点の1つは、バーンディコネクタのピンは矩形だが、モレックスコネクタは、もっと小型の正方形のピンを使用している。異なるコネクタを接続するのは大変な努力が要る。電源を注文する前には、システムボードに合ったピンの形を確認しておくべきだろう。コネクタのタイプを確認するには、コネクタを外してピンの形を調べるしかない(この場合、パーソナルコンピュータのスイッチを切ることはいうまでもない)。

ほとんどの電源メーカーが使用しているバーンディコネクタは、間違った場所に差し込めないように〝キー〟が付いている。ただし残念ながら、多くの交換用電源は、キーのないものが出荷されている。

システムボードに接続する電源コネクタを見ると、コネクタの片側に1個もしくは複数個の小さなタブが飛び出していることに気がつくだろう。そのうちの1個だけがほかのタブより長い場合は、コネクタはキー付きということになる。全部の長さが同じ場合は、キー付きではない。また、右側の1本を残してほかのタブを切り落とせば、キー付きにすることができる。図9-3は、キー付きのコネクタである。

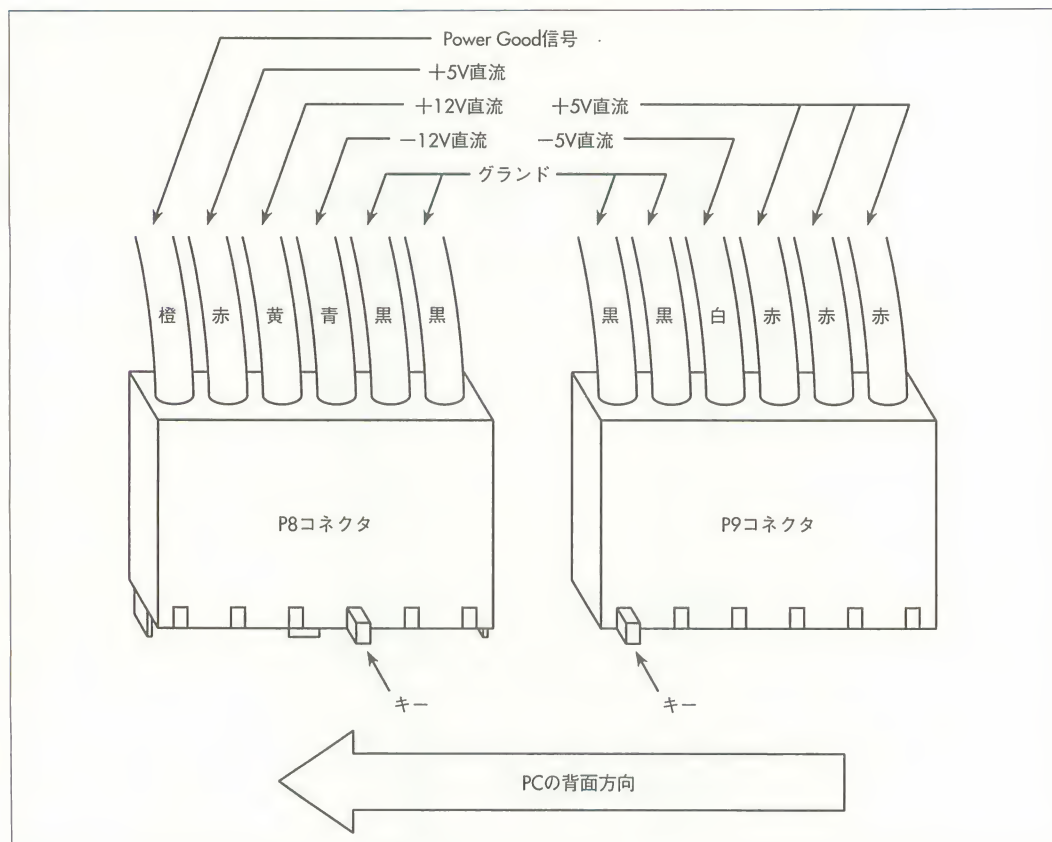



図9-3　システムボード用キー付き電源コネクタ

ほかにも、システムボードコネクタが正しい位置で接続されているかは、配線の色コードで確認できる。正しく接続すれば黒のコードが中央にくる。つまり、2つのコネクタの黒の配線同士が隣り合わせになるわけである。

9.6　電圧保護

通常の配線の電圧は、多くの場合、我々が料金を支払っている115Vの交流にはほど遠い。ノイズ、電圧低下、断流が入り交じったスパイクやサージを伴っているのである。これらはいずれも不要なもので、データのエラーやコンピュータの損傷の原因になるほど強いものもある。これらは回避することはできないが、その悪影響からパーソナルコンピュータを保護することは可能である。

電源ラインの異常変動

電源ラインの問題は、過電圧、低電圧、ノイズという3つの基本カテゴリに大別できる。個々の問題にはそれぞれ異なる原因があり、特別な保護が必要になる。

■ 過電圧

最も恐ろしい電源ラインの敵は、稲妻のような

高電圧スパイクの過電圧で、パーソナルコンピュータに侵入してシリコン回路を溶かしてしまう。損傷は目に見えないことが多いが、モニタには何も映らなくなるのですぐにわかる。また、実際に過電圧の被害がコンピュータ内部の黒焦げの残骸という形で現われることもある。

名前が示すように、過電圧によって、装置が処理できる範囲を超えた電圧がパーソナルコンピュータに送り込まれる。概して、理想にかなり近い商用電力でも、通常はその定格値の約10%の範囲内にある。つねにこの範囲内に収まっていれば、パーソナルコンピュータの内部変圧回路によって、この変動を切り抜けることができる。

しかし、短い期間この範囲を超える過電圧が、電力会社の設備が補償できないほど素早く発生することがある。さらに、多くの過電圧は、家庭やオフィス内部で発生するため、電力会社としては手の打ちようがない。通常の配電線で25,000Vの瞬間ピークが測定されたこともある。普通は付近で発生した稲妻が原因になるが、稲妻は必ずしも、配電線を直撃して、パーソナルコンピュータに損傷を与える電圧スパイクを誘発するわけではない。配電線を直撃した場合には、その回路に接続された何もかもが、フラッシュバルブのように燃えてしまう。

過電圧は、持続時間により2つに分類される。持続期間が短い過電圧を**スパイク**と呼び、これはナノ秒からマイクロ秒持続する。長い方の過電圧は通常**サージ**と呼ばれており、持続時間はミリ秒という単位である。

ときには、電力会社の手違いによって過剰な電圧が配電線に送られ、電灯が普段より明るく輝いたり、パーソナルコンピュータが壊れそうになることもある。この場合は、単に「過電圧」と呼んでいる。

■ 低電圧

低電圧は、装置が期待する電圧を下回る電圧しか与えられない場合を指すが、その範囲は、数ボルトの電圧の落ち込みから完全な停電まで範囲は広い。持続時間もは、ほとんど瞬時といったものから数時間(電気料金未払いの場合は数日)まで様々だ。

きわめて短時間なら、電圧低下も停電さえも問題にはならない。数十ミリ秒以下程度(まばたきするぐらいの時間)なら、コンピュータは何事もなかったかのようにやり過ごす。唯一の例外は、極めて繊細なPower−Good信号を持つ電源を搭載している少数の旧式のモデルのコンピュータだ。この場合、瞬時の停電でもPower−Good信号をオフにして、実際には十分な電気があってもコンピュータをシャットダウンするのである。

ほとんどのパーソナルコンピュータは、約20%の低電圧なら長時間でもシャットダウンしないで持ちこたえる設計になっている。これより大幅な電圧低下や停電が数ミリ秒続いた場合にはシャットダウンが行われる。この場合、パーソナルコンピュータはコールドスタートを余儀なくされ、最初からブートしなければならず、低電圧の発生前に保管されていない作業内容は失われてしまう。

■ ノイズ

ノイズは、ほとんどの電子機器の電源にとってやっかいな問題だ。ノイズは、配線が電磁界を通過する際に拾い上げる擬似信号からなる。多くの場合、これらの信号は電源のフィルタ回路をくぐり抜けて、電子機器内部の信号に対して干渉を引き起こす。たとえば、テープレコーダの電源コードは、アンテナのような働きをして強い無線信号を拾い上げる。無線信号はレコーダの回路に侵入して再生中の音楽に混入する。その結果、モーツァルトの曲の上でCB無線のおしゃべりを聞かされるはめになる。

コンピュータでは、これらの擬似信号はマシンの回路を流れるデジタル思考を混乱させる可能性を持っているが、現実問題としては、そのようなことは起こらない。ちゃんとしたコンピュータは、ケース内部から信号が外部の世界に漏れるのを最小限に抑えて、ラジオやテレビにできるだけ受信障害を発生しないように設計されている。この信号を外に出さない保護処置が、ほかの信号が回路内に侵入するのを防ぐ役目も果たしているわけだ。このように、パーソナルコンピュータにおいては、ラインノイズからの保護は行き届いているので、

コンピュータを保護するためのノイズフィルタは不要といえるだろう。

しかし、ノイズフィルタがあっても害があるということではない。ノイズフィルタは安く、(特にそれが必要だと思い込んでいる人たちにとっては) セールスポイントにもなるため、ほとんどの電圧保護デバイスはノイズフィルタを内蔵している。ユーザーはこの追加保護を利用すればよいわけで、わざわざ買い求める必要はない。

過電圧保護

スパイクやサージの保護回路は、短時間の強力な過電圧がパーソナルコンピュータに到達しないように設計されたものである。これらの保護回路は、過電圧が電源コードを伝わってコンピュータの電源に到達する前に、過電圧を吸収するようになっている。

最もよく使用されている過電圧保護デバイスは、**バリスタ** (正式には**金属酸化バリスタ**、略して MOV) であろう。バリスタは、リード線の間の電圧があるレベルを超えた場合にだけ通電するように動作する。バリスタは、スパイクやサージの過電圧が、パーソナルコンピュータに入り込む前に通電してそれらを消し去るわけである。バリスタがスパイクに対してこの動作を始める電圧のことを**クランプ電圧**と呼ぶ。

過剰なエネルギーは消失せずに熱に変わり、バリスタを破壊する場合もある。バリスタは身を挺してコンピュータを保護しているのである。まったくバリスタを破壊しないバーストでさえも、わずかながらバリスタに損傷を与えており、そのダメージは蓄積されていく。つまり、バリスタの寿命は有限で、通電してサージを消し去るごとに短くなるのである。最終的にはバリスタは破損し、ひどい場合には電光のように破裂する。バリスタの破損が原因で、コンピュータ回路に電気的な損傷を与えることはないにしても、火災を発生させて、パーソナルコンピュータはおろか、家やオフィス、使用者にさえ危害が及ぶことがある。一部のメーカー (IBM など) は、電源にバリスタを入れるのを止めて、メーカーとしてはマシンの故障よりもよほど厄介な火災の可能性を排除している。また、バリスタは密かに破損して、サージを吸収していないこともある。使用者の知らない間に、パーソナルコンピュータは無保護のまま使用されていることがあるのだ。

いずれにしても、バリスタを破損したままマシンを使用するといった可能性を少なくし、つねに確実にバリスタを動作させておけるように、バリスタは定期的に交換したほうがよい。交換頻度は、バリスタにかかる負担に依存するが、通常は、数年というのが妥当な交換期間である。ほかにも、半導体、イオン化スパークギャップ、フェロ共鳴トランスなどのデバイスが過電圧除去に使用されることもある。これらは機能はバリスタに似ているが、動作原理が異なっている。

過電圧保護デバイスの最も重要な特性は、いかに速く動作し、いかに多くのエネルギーを放散するかである。通常、応答時間 (クランプ速度) が速いほどよく、ピコ秒といった単位のこともある。また、エネルギー処理容量は大きいほどよく、ワット秒またはジュールで測定する。数百万ワットを処理できると謳っているデバイスもまれではない。

9.7　低電圧保護

コンピュータには、低電圧を処理するデバイスが3つある。電圧レギュレータは、電圧の変動をパーソナルコンピュータが動作できる範囲内に保つが、急激な電圧の落ち込みや停電に対する保護機能はない。これに対して、停電に対応するのが**予備電源システム**と**無停電電源** (UPS) である。

電圧レギュレータは、電力会社が供給電圧を一定レベルに保つのに使用しているのと同じデバイ

スである。電力会社の巨大なレギュレータは、異なる電圧レベルにセットされた出力装置である多数のタップ(巻線)を持った大型トランスで構成されている。レギュレータに結合されたモータがスイッチを動かして、正常な配線電圧に最も近い電圧を供給するタップを選択する。これらの機械式レギュレータは巨大な設備で、最も小さいものでもオフィス全体を占有して余りある。その上、電気的な時間の尺度では本質的に低速過ぎ、データ損失を招くに十分な電圧の低下の持続を許してしまう可能性もある。

半導体電圧レギュレータは、半導体を使用して線路電圧の変動を補償するものである。コンピュータ内部の電源と似た働きをするが、補償範囲がもっと広い。

可飽和リアクタレギュレータは、トランスのコアを飽和させるのに十分な直流制御電流をトランスの補助制御コイルに加える。飽和状態になると、それ以上の電力はトランスを通過できない。直流制御電流を調整することで、トランスの出力を調節するわけだ。このデバイスは、調整範囲全体の電力を捨てざるを得ないため、効率が低い。

フェロ共鳴トランスレギュレータは、補助巻き線とキャパシタの組み合わせを使用して、ラジオの同調と同じ方法で飽和するように〝同調〟する。この同調により、トランスはその出力の電圧や周波数の変化に抵抗を示すようになる。実質的に、これは大きな電気的慣性となって、電圧スパイクを調整するだけでなく、これを抑制してラインノイズを減らす。

電圧レギュレータの性能は、出力を希望する電圧値のどれだけ近くに維持できるかによってきまる。レギュレーションは、通常、ある入力変化に対する出力変化として表現される。レギュレータの入力範囲は、そのレギュレータが補償できる電圧の変動範囲を表わしている。この範囲は、コンセントで発生しうる電圧変動を超えるものでなければならない。

停電保護

予備電源システムも無停電電源システムも、同じ方法で停電保護を行う。その基本は、大量の電流を貯蔵する強力なバッテリである。インバータが、バッテリからの直流をコンピュータが使用できる交流に変換し、システムに内蔵されたバッテリチャージャが、貯蔵電源を常時完全に充電された状態に保つのである。

両方のシステムには類似点が多いため、「UPS」という用語が予備電源システムと無停電電源システムの両方に誤って使用されることが多い。この2つのシステムは、次の基本的な点が異なっている。予備電源システムから供給される電気は、デバイスが、商用電力から内部貯蔵電力に切り換えるときに、短時間中断される。一方、無停電電源システムは、名前が示すように、保護対象のデバイスに供給する電気にいかなる中断も許さない。パーソナルコンピュータが電気供給の短時間の中断に敏感な場合は、この違いは重要である。

予備電源システム

名前が示すように、予備電源システムは、電源が障害を起こしたときに即座に動作できるように常時待機している。正常な状態(商用電力が使用可能な状態)では、システムのバッテリチャージャは緊急用エネルギーを保持するために少量の電流だけ引き出している。予備電源が電力を引き出すAC電源ラインは、予備電源の出力に直接接続され、それからコンピュータへ接続されている。バッテリは経路の外にある。

停電が発生すると、予備電源が動作にスイッチするが、この〝スイッチ〟がキーワードである。コンピュータへと続く予備電源内部の電流の配電線は、商用電線からバッテリ駆動インバータから来る電流へと物理的にスイッチされるのである。

スイッチには、短いが、ある程度の時間を要する。まず、停電を検出しなければならない。最高速の電子式電圧センサであっても、停電を検出するにはある程度の時間がかかる。さらに停電の検出後も、コンピュータが新たな電気の供給を受ける前に、スイッチ動作を行うあいだ、短時間の中断がある。ほとんどの予備電源システムは、コンピュータが中断に気づかないほど高速にスイッチするが、まれに、予備電源システムとコンピュータの相性が悪い場合には、コンピュータがスイッ

チの期間中にシャットダウンされることもある。

現在のほとんどの予備電源システムは、AC電流が供給される1サイクルの1/2以内の時間でスイッチする。つまり、10ミリ秒以下でスイッチを行うということで、このため、ほとんどすべてのコンピュータは、中断がなかったかのように動作を続行できる。予備電源システムの設計は、スパイクやサージに対する保護を行わないが、別の保護デバイスを回路内に搭載して、パーソナルコンピュータにクリーンな電力を確実に供給している。

無停電電源システム（UPS）

従来の無停電電源システムは、出力を商用電線からバッテリにスイッチする必要がなかったため、文字どおり無停止電力を供給した。というよりも、そのバッテリがインバータ経由で常時継続してシステムの出力に接続されていたのである。この手のUPSは、つねにバッテリからコンピュータに電力を供給していたため、コンピュータは完全にAC電線の気まぐれの影響を受けるとはなかった。新式のUPS設計は旧式の設計より予備電源システムに似ているが、技巧を凝らしてスイッチ中の中断さえ埋めている。新式の設計も本当の意味の無停電電力を供給するが、旧式の設計よりもずっと安価に製造できる。

旧式のUPSでは、バッテリは、コンピュータに電力を供給する定電流が放電しないように、大型の内蔵チャージャによって保護されている。停電になると、チャージャは充電を停止するが、バッテリは切り換えを行うことなく、接続されたコンピュータに電気を送り続ける。実質的に、このタイプのUPSは、給電先のマシンとは数インチしか離れていないだけの専用発電所であり、稲妻や負荷変動の悪影響からコンピュータを保護している。したがって、電圧低下やサージがコンピュータまで届くことはない。代わりにコンピュータは、本来前提としている真に平滑で一定した電気の供給を受けるのである。

新式のUPSでは、特殊なトランス経由で入力電力とインバータの出力の両方を接続し、それを保護すべきパーソナルコンピュータやほかの装置に接続している。商用電力が使用できる場合でも、このタイプのUPSはトランス経由で電力をパーソナルコンピュータに供給する。停電が発生すると、インバータが一般に1／2サイクル以内で始動する。このとき、トランスのインダクタンスは蓄電システムとして動作して、切り換え中に中断される1／2サイクルを供給する。

従来型のUPSは、サージとスパイクに対する保護（および電圧低下の除去）が万全である。電源線と保護される装置のあいだに直接的な接続が存在しないため、スパイクなどの侵入経路がない。新式のUPSのトランスも電源線の異常変動を全体的に吸収するが、同じ程度の保護は望めない。このため、新式のUPSは、ほかの保護デバイス（MOVなど）を内蔵している。

バックアップ電源システムの仕様

バックアップ電源デバイスを購入する前に調べておくべき最も重要な仕様は、〝ボルトーアンペア（VA）〟または〝ワット（W）〟で表した電気容量である。この数値は、必ずバックアップデバイスを接続する予定の機器の定格より大きい値でなければならない。

交流（AC）システムでは、ワットは必ずしもボルトとアンペアの積（直流システムに適用される定義ではそうだが）ではない。これは、電圧と電流の位相がずれることがあるからだ。つまり、電圧が最大のとき、回路の電流が中間段階の値をとることがあるのだ。したがって、電圧と電流のピークがそれぞれ異なるときに発生することが多い。

電力は、電圧と電流の両方を同時に必要とするため、AC回路の電圧と電流の積は、実際の回路の電力より大きいことがしばしばある。これらの2つの値の比率を、**システムの電力効率**と呼ぶ。

重要なことは、ボルトーアンペアとワットは同じものではないということである。ほとんどのバックアップ電源システムがVAを定格としているのは、電力係数のおかげでそのほうが大きい値になるためである。コンピュータ機器が使用するVA総量は、バックアップ電源システムが供給できるVA量より少なくなければならない。逆に、機器が使用するワット数は、バックアップ電源システムが供給できるワット数以下でなければならない

のである。そして、比較するときには、VA とワットを混同してはならない。

VA 定格をワット定格に変換するには、VA にバックアップ電源の電力係数をかける。同様に、ワット定格を VA 定格に変換するには、ワット数をバックアップ電源の電力係数で割る。電源に接続する機器についても、同様にして定格の単位を変えることができるが、機器の電力係数を見つけるのが困難な場合がある。パーソナルコンピュータでは、目安として安全な値は 2/3 である。

予備電源システムと無停電電源システムは、バッテリ電力を供給できる時間についても定格がある。この値は、システムが貯蔵するエネルギー総量(電力と時間の積)に等しい。この時間定格は、バックアップデバイスが供給しなければならない VA 値によって変わる。バッテリ容量は有限なため、供給電流が増えるほど、時間は短くなるのだ。ほとんどのメーカーは、バックアップシステムの定格を、エネルギーの単位を使用する科学的な方法ではなく、特定負荷での動作時間で表わしている。たとえば、バックアップシステムの定格は、「250VA 負荷で 20 分」という形で表わされる。

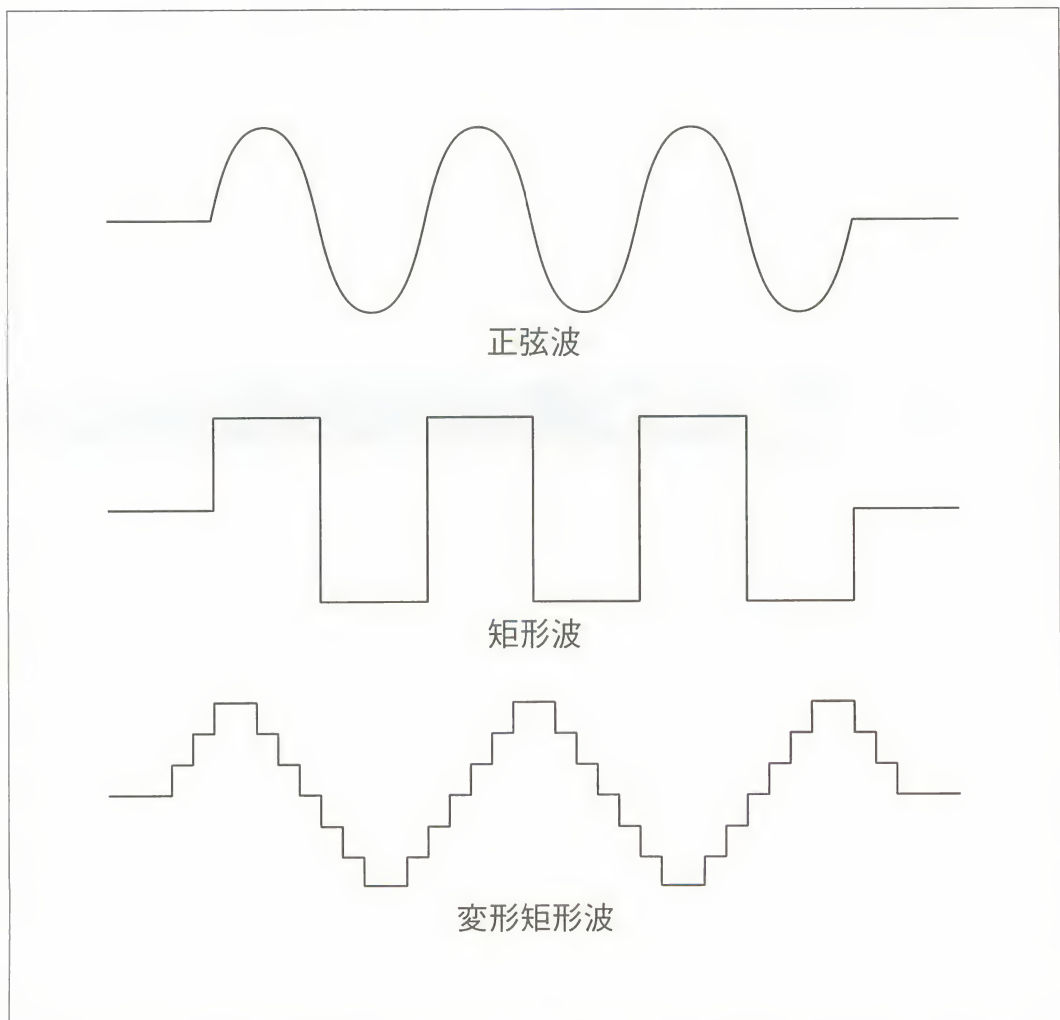



図 9-4 電源の波形

あるバックアップ電源がシステムを動作させうる最大時間を知りたい場合は、それが使用しているバッテリの定格を調べる。ほとんどのバッテリは、アンペア時の定格になっており、これはどれだけの電流をどれだけの時間流すことができるかを示している。この定格にバッテリ電圧をかけると、本当のエネルギー定格が得られる。たとえば、「12V、6Ah」のバッテリは、理論上、72Whの電力を生成するということになる。この値は、バッテリをDCからACに変換する回路が電力の一部を消費し、また定格が新品のバッテリにしか当てはまらないという点を考慮すると、実際の値ではなく理論値ということになる。それでも、得られた値によって限度がわかる。たとえば、72Whのバッテリしかない場合に、そのシステムで250VAのパーソナルコンピュータを1時間動作させようとしても無理で、期待値は長くても17分、実際には、12〜15分と考えた方がよい。

しかし実際は、バックアップ電源システムは長時間必要ではない。ほとんどの場合、バックアップ電源は、その目的からしてシステムを継続動作させるためのものではないため、5分程度のバックアップ時間で十分だろう。むしろ、バックアップ電源システムは、作業内容を失わないでコンピュータをシャットダウンできるように設計することが重要である。シャットダウン作業は1〜2分もあれば済むだろう。

バックアップ電源システムが異なると、その出力波形も異なる。完全な波形は、商用電力の波形と同じ正弦波だが、正弦波は最も生成が困難な波形であるため、多くのバックアップ電源システムは、実際には、正弦波に似せて方形波を積み上げた〝修正方形波〟を生成している（前ページ図9-4参照）。

最も望ましくない波形は通常の方形波で、これはパーソナルコンピュータの電源のオーバヒートの原因になる。予備電源システムは短時間だけバッテリからコンピュータに電力を供給するため、予備電源システムからの出力波形は、無停止電源システムからの出力波形ほど重要ではない。

9.8　電力装置の認定

マシンのスイッチを入れたとたんに、内部の電気が稲光となって飛び出してあなたを床に投げ倒し、あなたの心臓は張り裂け魂は地獄に堕ち、同僚たちが倒れたあなたの周りに集まってきて、長い間自分のものにしたいと思っていたあなたの窓際の席が誰の手にわたるかということに思いを巡らすなどとは、誰も想像もしないだろう。あるいは、ワークステーションが火炎放射器や最新式の時限発射装置付き焼夷弾モロトフとなって、消防署長や熊のスモーキー*1に悪夢をもたらすなどとは思いもしないだろう。人々は、パーソナルコンピュータや様々な事務機器の安全性を信じきっている。しかし、現代の電子工学は電子機器の安全性を保証しているわけではない。むしろ反対に、すべての電子機器は、ショックを与える電圧を何かしら持っている。パーソナルコンピュータの電源内部の電圧は、人間を感電死させ、オフィスに火を付けることさえできるのだ。

さらに悪いことに、このような起こりうる災疫に対する防御も、人々が思うほど完璧ではない。「保険」は何かが起こってから適用されるのであり、あなたが投げ飛ばされて両足を挫いたときには大した慰めにはならない。政府の監督官庁は、法律施行によるリコールや商品の販売停止処分には迅速に対処せず、災害が立て続けに発生して、商品に何か不良箇所があることが明らかになるまで手

＊1　訳注：米国森林保護局のマスコット。日本でいえば、〝山火事注意〟の看板に描かれている、〝纏を持ったリス〟のようなもの。

を打とうとしない。また、カラーテレビがあっという間にアパートを火だるまにした事故を覚えている人なら、評判のよい企業でさえ、危険がひそんでいる商品を販売する可能性があることがわかるだろう。

いくつかの試験機関や認定機関が、あなたが命を預ける機器の安全性を保証してくれる。たとえば、**カナダ規格協会（CSA）**、**Underwriters Laboratories 社（UL）**、**ドイツ電気技術者組合（VDE）**がある。中でも名が通っているのは Underwriters Laboratories 社であろう。この機関は米国で 1 世紀もの間活動を続けているからだ。CSA はカナダの、VDE はドイツのこれと同様の機関である。

「UL」マークは、Underwriters Laboratories の安全認定技術者が、商品の設計とサンプルを調査して、同研究所の厳格な安全規格に適合していることを認定したことを示すものである。加えて、パーソナルコンピュータの最初の安全性が製造途中で変更されることのないように、別の UL 技術者が、メーカーの組み立てラインからサンプルを無作為抽出して、抜き打ち検査を行っている。

Underwriters Laboratories

Underwriters Laboratories（UL）は政府の機関ではない。また、60 年代の消費者保護運動組織の流れを汲むものでもない。Underwriters Laboratories は、独立系の非営利機関であり、安全技術のコンサルタントおよび認定機関としての働きを持った組織である。ただし、商品が市場に出る前に商品に欠陥がないかどうかを検査するサービスに対してメーカーから報酬を受けるという商行為を行っている。

政府の監督官庁とは異なり、UL の権限はその規格と名声、それも長年にわたる名声によるものである。この機関の創立は商用電力と同じくらい古く、政府の規制や消費者団体、〝Upton Sinclair のスキャンダル〟などよりずっと歴史がある。

UL は、1894 年に William Henry Merrill によって創立され、当時は〝Underwriters Electrial Bureau〟と称して、主に誕生まもない電気産業の商品の安全試験を手がけていた。創立当初の人数は、Merrill、Edward Teall、W.S.Boyd の 3 名であり、Chicago の消防署の上に事務所を構えていた。以後、同社は職員数もオフィス数も拡大を続け、ほかの分野にも進出した。現在の職員数は数千名、オフィスは Illinois 州 Northbrook、New York 州 Melville、North Carolina 州 Research Triangle Park、California 州 Santa Clara にそれぞれ 1 か所、合計 4 か所ある。現在では、パーソナルコンピュータから暖房器具、消火器に至るまで、安全性に係わるほとんどすべての商品を網羅して、その規格と試験方法を設定している。同機関は、1901 年に正式に Underwriters Laboratories Inc. として法人組織となった。

Underwriters Laboratories 社（以下 UL 社）の規格は、私企業の商品ではあるが、法的にも意味を持っている。UL が開発した規格は、法令や法規に取り入れられてきたし、将来も取り入れられるであろう。

特にこの例が、パーソナルコンピュータ関連の規格に見られる。米国の電気取締法は、多数の地方自治体の法律に採用されているが、1991 年 7 月 1 日をもって、通信ネットワークに電気的に接続する意図を持つすべての機器は、その目的に従って登録されなければならない、と規定している（米国電気法、800−51 条、i 項）。米国の法律を施行する自治体では、パーソナルコンピュータがモデムを内蔵し、それを電話回線に接続するつもりなら、パーソナルコンピュータを登録しなければならないわけである。そしてこの場合、パーソナルコンピュータに「UL ラベル」が付いていれば、登録済みの証明になる。

UL 社は政府の出先機関ではないため、自社の規格を勝手に企業に強制することはできない。各企業との協調と契約によって運営されている。UL ロゴを使用するには、企業は UL 社と契約を締結しなければならない。これにより、商標ロゴの使用が許可されるのである。

ただし、UL 社は、報酬の対価としてのみ商標ロゴの使用を許可するわけではない。ロゴの使用権を獲得するためには、企業は該当する UL 規格に従うことに合意しなければならない。さらに重要なことは、企業は機器のサンプルを UL 社に提出して、試験と規格適合の認定を受けなければな

らない。契約では、企業側に該当する規格に継続して準拠する義務を負わせ、UL社側にそのチェックを行う権利を付与している。UL社は、商品にロゴを許可することも保留することも可能で、連邦法の下でロゴの使用条件を強制できる。ULロゴは、UL社が取り扱うすべての品目に表示されることもありうる。ULロゴは性能規格ではなく安全規格に準拠していることを示すもので、品質は対象ではない。

コンピュータの安全規格

コンピュータ、そして電気機器全般でさえ、UL社の唯一の品目ではなく、ましてや主要な品目でもない。同社は、建築素材から火災警報システムに至るまで、あらゆるものの規格を開発し、試験を実施しているのだ。現在、パーソナルコンピュータは、数あるUL規格の中では基本的に「**UL 1950規格**」に準拠しなければならない。

UL 1950規格は、あらゆる情報技術機器に適用される。同規格は、1989年3月15日に公布され、1992年3月15日に発効したが、この日以後にULロゴを付けて販売される機器は同規格に適合していることを意味し、現在製造されているコンピュータ機器は、UL 1950の仕様に適合するかどうかを試験される。

1989年以前の10〜15年間、データ処理機器にはほかの規格が適用されていた。情報処理機器と事務機器には「UL 478」、オフィス用電子機器と事務機器には「UL 114」であった。UL 1950は、その両方に代わる規格である。

新しい規格は勝手に作成されたわけではなく、提携関係にないCSA、VDEなど世界中で使用されている様々な規格を統一しようとする試みを提示している。メーカーは、ヨーロッパ、カナダ、および米国で使用される機器について、場合によっては相互に矛盾する複数の規格の代わりに、1つの規格の指針に従うことができるのである。

UL 1950は、通常のデスクトップパーソナルコンピュータとその周辺機器(ディスクドライブからプリンタまで)からメインフレームコンピュータまで、また、単純な卓上計算機や果てはタイプライタに至るまで、ありとあらゆるものを網羅している。一方、爆発性気体など厳しい環境の中で動作しなければならない産業用コンピュータ装置には、これとは異なる要件を持つ特殊規格が適用されている。

数センチもの厚さがある規格文書で、機器設計と製造のほぼすべての側面がカバーされており、ULが適用する試験手順も記載されている。絶縁や配線の状態から機械的強度、耐火性に至るまで広範に網羅されており、商品のマークや識別に関する事項もある。興味があるなら、著作権登録された刊行物をUL社に直接注文できる。

UL認定とUL登録

電気機器に認定を与える上で、UL社は厳密に定義された3つの用語を使用する。**登録**、**認定**、および**分類**である。それぞれに異なる規格があり、扱う対象機器の種類さえ異なっている。

認定は、それ自体は完成品ではないが、完成品を製造するのに使用される電気部品や電気製品に付与される承認のことを指す。照明スイッチやコンピュータ電源が、UL認定を獲得する機器の代表である。UL認定を受けた装置は、Uと逆向きのR(recognition:認定の頭文字)の斜体を一体化した特別のシンボルマークを付けることを許可される。

登録は、販売される完成品(家電製品、モニタ、コンピュータシステムユニットなど)に適用される。登録商品は、おなじみのUL商標(円の中にULの文字)を付けることを許可される。

UL登録商品は、UL認定部品から製造されることが多いが、そのように義務付けられているわけではない。また、UL認定部品を使用したからといって、完成品が自動的にUL登録商品になるわけではない。UL認定部品を使用すると、登録が容易になる程度のことである。

UL登録が意味するところは、完成品を出荷時の形態で使用する分には安全であるということだ。UL認定製品は、正しく搭載して正しく使用する分には安全である。登録を行うことで信頼性が高まる。

UL認定部品はそれ自体は安全であっても、完成品に組み込まれると危険物になる場合がある。

たとえば、熱を発生する電源は、適切な通風を欠いたゆとりのないケースに収容されると、オーバヒートを起こして火災の原因になりうる。電源がUL認定部品であっても、このような完成品はUL登録には至らないであろう。

自社のパーソナルコンピュータはUL認定されている、と言う企業は間違っている。これは、ありえないからだ。ULは、完成品のコンピュータシステムには認定を付与しない。メーカーは、コンピュータがUL認定部品で構成されており、登録は任意であって法的にはUL登録する必要はないのだから、自社コンピュータは登録の必要がないと主張するかもしれない。この主張は、法的には正確ではあるが、誤解を招く。

このような主張は、そのコンピュータがUL登録されていないことを示し、完成品のシステムがULの設計製造規格に適合していることは保証していないのである。パーソナルコンピュータメーカーに、その製品がUL登録されているかとたずねると、はっきり「いいえ」とは言わずに、「システムはUL認定部品を使用している」という返事をするかもしれない。

分類は、通常、発布されている特定の規格や法令に適合することをULが試験したり、特定の危険性に関する評価を実施されていたり、特定の条件の下で動作する商品や工業製品のみに適用される。UL分類された装置には特定のシンボルマークは付けないが、ULの名称と製品の分類の範囲を示す表示を付ける。

申請手順

製品にUL登録、認定、あるいは分類を獲得するには、何段階もの手順を踏まなければならない。まず、メーカーが自発的にUL社にコンタクトをとる。この第1段階は、単に書面か電話ですむ。次に、メーカーは、製品の説明書、写真、取り扱い説明書、パンフレットなど、機器がどのようなものかを示すのに役に立ちそうなものは何であれ添付して、正式な試験依頼書をULに送付する。

メーカーからの情報をもとに、UL社は製品が適合すべき規格はどれか、適合を保証するために実施すべき試験は何かを決定し、必要なサンプルの個数と対価を含んだ試験要件を通知する。

メーカーは、合意する場合は申込み用紙、手付金、要求された個数のサンプルをUL社に送付し、UL社は製品を調査、試験する。

製品が試験に合格すると、UL社は最終報告書を発行し、商品の登録通知をメーカーに送付する。抜き打ち検査など、事後の手順の調整が両者の間で行われる。こうして、メーカーは、製品、パンフレット、製品の広告にULマークを使用できるようになる。

製品が不合格になった場合、UL社はメーカーに結果を通知し、合格するために必要な修正を提案する。メーカーは製品に修正を施して、再度試験に臨むことができる。

UL社は、ある決まった方法で試験対象の製品に接する。通常は、試験手順は外観から始まって、次第に内部に向かう形をとる。

パーソナルコンピュータの出発点は電源コードである。UL技術者は、電源コードがオーバヒートしないで十分な電流を流せ、踏みつけられても耐えるほどの強度があることを確認する。

次に、ケースに進む。ケースがプラスチックの場合は特に厳密にチェックされる。衝撃や高温など、通常の酷使状態に耐えなければならない。ケースが壊れると、破片でけがをしたり、人体が内部回路に触れる危険があるからだ。

可燃性もチェックされる。プラスチック製ケースは、火炎を伝える媒体になってはならない。また、有毒ガスを発生してはならない。この試験では、評価対象のパーソナルコンピュータに実際に点火する。

ケースの通風孔もチェックされる。ここにはいくつかのチェック項目がある。通風孔は、装置がオーバヒートしないように十分な気流を流せる大きさがなければならない。その一方で、ユーザー(それにユーザーの子供)が誤って指を入れて衝撃を受けない程度に小さくなければならない。また、何かが内部に入って短絡や火災を生じる位置にあってもいけない。

ケースの内部では、一次側(商用)電力が主なチェック項目である。UL社の技術者は、正常な動作状態だけでなく、障害発生時にも電圧が存在す

る個所をくまなくチェックする。電源と論理回路の間の絶縁状態が検査され、たとえば、プリンタを外すためにコネクタをつかんだときに、高電圧による衝撃を受けないかどうかが確認される。

さらに機器は、最悪条件下の動作状態でどの程度高温になるかを試験される。パーソナルコンピュータの場合には、すべての拡張スロットとドライブ収納部を埋め尽くして、最大負荷が電源と冷却システムに加わるようにする。次に、パーソナルコンピュータ（またはほかの装置）を温度が安定するまで動作させた上で、内部温度が測定される。主なチェック項目は、過剰な熱で火災に至ったり、衝撃を与える可能性のある部品の品質低下を引き起こすかどうかである。

コンセントから供給すべき確実な電気容量がわかるように、機器が実際に引き出す電流量も測定される。さらに、漏電試験が行われ、足をぬかるみに浸したままパーソナルコンピュータのケースによりかかっても、衝撃を与えるほどの電流が流れないことを確認する。加えて、絶縁電圧試験が行われ、機器の絶縁状態が電気的危害からユーザーを保護するのに十分であるかどうかを確認する。

UL 社の技術者は、機器の裏側と取り扱い説明書に記載された装置の定格を確認し、装置を接続する電源のタイプと、そこから取り出す電流量が、正しく記載されていることを確認する。ユーザーが機器を正しく使用するために提供されている情報が、少なくとも装置の電気特性に関しては、適切であることを確認する。

UL 社の試験は、メーカーが評価用に提出した最初の1台のユニットで終わるわけではない。悪質なメーカーが評価用に最高級のプロトタイプを製作して送付し、実際の生産では使用できる中で最低品質で最低価格の部品を使用することがありえるからだ。したがって、メーカーは、生産する機器に UL マークを付けるためには、組み立てラインから出てくる全製品を事後試験対象に供することに合意しなければならない。

メーカーが製品ごとに行う事後試験には、生産ライン絶縁電圧試験と連続接地試験が含まれる。絶縁電圧試験では、ユニットの2本のプラグ（平らなブレード）とアースピン（丸いピン）の間に電圧を加える。この試験に合格すると、製造工程ではユニットのケースに触れた場合に衝撃電圧を生じるような、短絡回路を生み出す配線の損傷がないことが保証される。接地試験では、電源コードのアースピンが、ユーザーが触れる可能性のあるケースのあらゆる部分に実際に接続されていることを確認する。これによって、すべてのユニットのケースが、適切に接地されていることが保証される。

UL 社との契約の下で、メーカーは年間4回の抜き打ち検査に応じて生産設備を UL 社に公開する。事前の連絡もなく、UL 社の技術者はドアをノックして、生産中の機器を見て、組み立てラインから抽出したユニットを試験したい旨を告げるのだ。

UL 登録で分れるシステム

UL 登録がなされているかいないかによって、業界の大手メーカーのコンピュータと、ガレージから工場に移ったばかりの低価格薄利多売メーカーのコンピュータは2つに分かれる。コンパックや IBM など大手メーカー製のコンピュータは、すべて UL 登録されているが、メールオーダで購入できるシステムのほとんどは登録されていない。

このように分かれる第一の理由としては、古株のメーカーは、その主要客先である大企業が、購入製品に対して UL 登録の保証を要求することが多いことを知っていることがあげられる。またほかにも、ほとんどの中小企業が、UL 認定がそもそも何であるか、それを得るにはどうすればよいかを知らないという理由もあるだろう。それに、最低価格帯のパーソナルコンピュータに UL ラベルがないことに対する、恐らく最も説得力のある理由は、UL 登録にかかる費用が高いということだろう。

コンピュータメーカーは、UL 認定作業の全費用を負担しなければならない。この費用は、実質的には、UL 社から安全技術のノウハウの提供を受ける対価である。

UL 社は、コンピュータを分解して、それがどのように作られているか、その構造が安全にどのような影響を与えるかを検査するエンジニアの作業

時間に対して料金を請求する。さらに、メーカーはコンピュータシステムの試験費用も負担しなければならない。エンジニアの作業時間に加えて、世界中のUL社の活動全体を運営する費用の一部は、登録費用や事後検査費用にも振り分けられているはずだ。

製品が登録に至るまでに掛かる正確なULの料金は、製品がどのようなものであるかということと、どの契約でも同じように、交渉によって変わる。UL社の刊行物によると、すべての調査には同一の課金スケジュールが適用される。しかしながら、製品によっては、コンサルタント作業も必要になるだろう。ある周辺機器メーカーは、1つの製品をUL社の評価用に提出するためにかかる平均費用は、3,000ドル～5,000ドルと報告している。

しかし、これはまだ序の口である。この料金は、技術的観点から完全に安全な製品を想定している。しかし、UL社は、製品の検査試験の後で、製品の安全性を改善する提案や、登録を獲得するためにメーカーが従わなければならない提案を行うことがある。改善は、どれも製品の開発費用を増加させる。

さらに、メーカーは、ときとして破壊に至る試験による評価を受けるために、UL社に機器を提出しなければならない。たとえば、直接手で扱う装置は、板張りの床に1メートルの高さから落とされる落下試験を行われる。落下試験の後、製品は動作する必要はないが安全でなければならない。障害シミュレーション試験、加熱試験、点火試験まで行われる。評価用のサンプルは、試験後に返送されてきたときには、粉々に砕けていないまでも、販売することはもちろんできない。

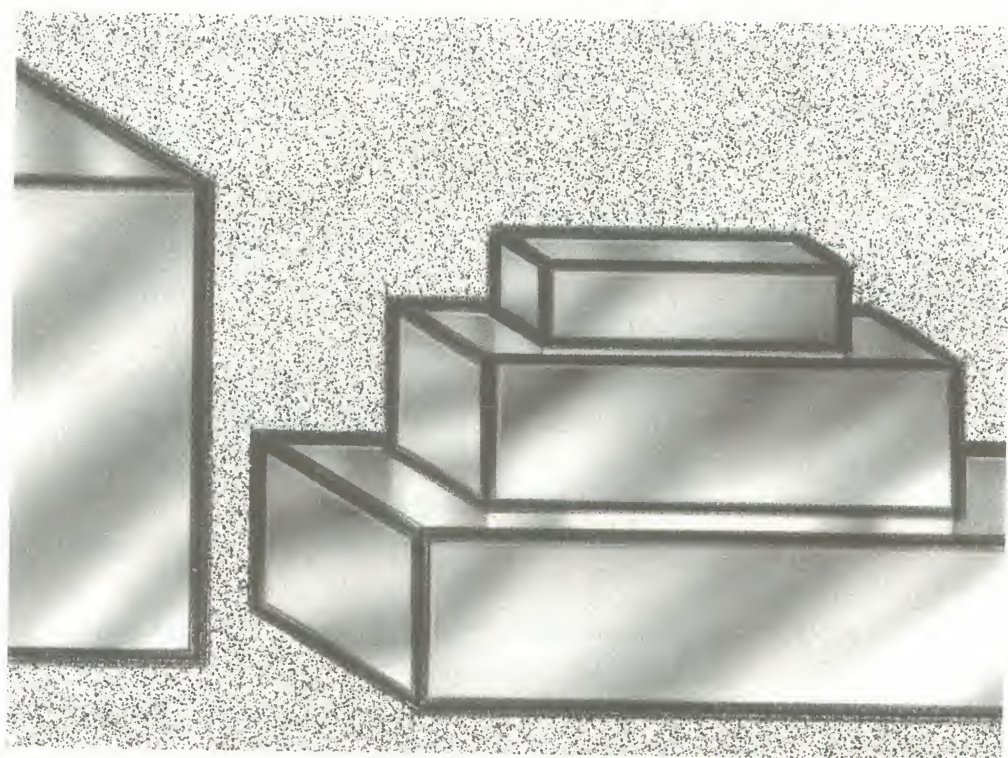
UL登録されている周辺機器のさるメーカーによると、評価用サンプルの費用はUL認定作業の一部として計上するそうだ。Pentiumベースのパーソナルコンピュータを製造する小企業では、この費用もばかにならない。

PC Magazineが取材した企業によると、以上をすべてひっくるめると、完成品のコンピュータシステムをUL登録するまでにかかる費用は最低でも10,000ドルで、元々の設計が安全性の点から不適切な場合、費用はうなぎのぼりに上昇するとのことである。小型システムのベンダの中には、製品の開発全体にさえそれほどの予算を投資していないところもあるだろう。あるいは、今日の競争の激しい低価格帯のパーソナルコンピュータ市場では、これは数ヶ月分もの利益に匹敵する金額かもしれない。

しかし、多くのメーカーにとってUL登録費用は問題ではない。これは、パーソナルコンピュータにとって、マイクロプロセッサ同様に必要不可欠なものなのだ。ULのラベルは製品の市場に通用する。製品の欠陥訴訟に勝つことを保証するわけではないにしても、UL登録は、製品の設計が世に認められた安全規格に適合した証拠にはなるのだ。

UL登録のない製品を買うべきかどうかは、個人的な判断である。確かに、UL登録のない機器が、登録装置と同じくらい安全なこともある。それでも、ULというロゴは、それを付けた製品が独立機関の手によって安全性を試験されたことを保証しており、これは、めったにない金で買える安心の1つである。

第10章

ケース

パーソナルコンピュータ全体をひとつにまとめているのがケースである。しかし、その役目は単なる容器にとどまらない。ケースは、回路基板や大容量記憶装置をしっかり固定する土台である。そして同時に、外界のあらゆる障害から、繊細な回路を機構的および電気的に保護し、また逆に、電波干渉や危険電圧といったコンピュータ内部に存在する障害から、外部環境およびユーザーを守るものである。ケースにはコンピュータとその用途に合わせて様々なサイズ、形、機能がある。

ケースはパーソナルコンピュータに物理的な姿を与えるものだ。そしてさらに、コンピュータの外枠であり、容器であり、繊細な電子部品に安全な動作環境を提供するシールドでもある。ケースは物理的な危険、つまりボードの動作に害を及ぼすような、回路基板を湾曲させたり、圧力をかけたり、ときには壊しさえする外部の力から回路基板を保護している。また同時に、オフィスに特有のクリップ、ホチキスの針、レターオープナー、缶飲料のプルタグ、義歯等の異物がマシン内部に入り込んで電気ショートが発生しないように防いでもいる。さらに、おもに強い電界のような、目に見えない危険からもコンピュータを守っている。強い電界はシステムのデータ処理を妨害する可能性のあるノイズを誘発し、さらにこのノイズによって、システムをクラッシュに至らしめるエラーが発生する場合もあるのだ。

ケースという保護シールドは、2つの方向に向かって進むものを同時に遮断している。1つは前述のように、外部からコンピュータ内部に入り込もうとする危険であり、もう1つは、コンピュータ内部から外へ向かって飛び出そうとするものだ。保護シールドであるケースは、これをコンピュータ内部に留めておくという役割を果たしている。コンピュータの働きの中で、特に2つの点が外界に対して問題となりうる。1つはコンピュータ内部の電気電圧で、不意にこれに触れると感電してしまう恐れがある。もう1つはコンピュータ回路を流れる高周波の電気信号で、これはラジオ放送のように放射されており、テレビから航空機の航路無線に至るまで、あらゆる電波の受信を妨害する可能性を持っている。

ケースにはもっと普通の役目もある。コンピュータに接続したい装置の設置場所を提供することだ。ドライブベイによって、周辺装置のひとつである大容量記憶装置を、制御回路のすぐ近くに設置することができる。さらに、ケースによって拡張ボードはしっかり固定され、システムのほかの部分と同様に機構的にも電気的にも保護される。

またケースは、乱雑な机上からモニタを適切な視線の高さへ固定する、世界中で最も高価なモニタスタンドにもなる。

コンピュータのケースには、必要な機能がすべて集約されているのだ。コンピュータの内部には、熱などのように外に出さなければならないものがあり、外部には、キーボードの信号やコンセントの電源などのように、中に取り込む必要のあるものがある。さらに、コンピュータケースは、システムをその上に組み立てた場合の強固な基盤とならなければならない。ディスクドライブの安定した土台となり、電子部品を安全に保護しなければならない。総合すれば、単純そうにみえる〝ケース〟だが、思った以上に複雑なのである。

10.1　機構

ケースの機能のひとつは機構的なもので、現実の物体として目で見て、手で触れて確認できるものだ。コンピュータを使用するときには、ケースは机の上や床の一部、あるいは使用者の膝を占有する。ケースの大きさには一定の規定があり、もう１つ装置を追加するときには小さすぎると感じるが、それでいてあらためて置く場所を見つけようとすると大きすぎる感じを受ける。ケースの形も一定で、バックアップテープを挿入するスロットのように、周辺装置すべてが、機能的に最も適切な所に配置されている。形と色もパーソナルコンピュータのスタイルを構成する一要素であり、コンピュータの外観がうんざりするほど似たり依ったりしている中で、システムに特徴を持たせる。

コンピュータはほかのオフィス機器同様に（それ以上ということはなくても）、機能がその形に表れている。コンピュータの現在の形は、コンピュータの中に搭載したいもの（基本的には、コンピュータに性能と能力を加えるすべての拡張オプション）を搭載できるように考えられている。ケースは、パーソナルコンピュータとして必要不可欠なフロッピーディスク、ハードディスク、光ディスクドライブ、テープドライブのすべてに十分なスペースを提供し、さらにユーザーが必要に応じて拡張ボードを搭載できるだけの、十分な大きさがあることも必要条件だ。

ボードおよびドライブの大きさには規定がある。この規定はかなり昔に設定されたもので、今後も変わることはない。当然、ケースはこれらが必要とする大きさを踏まえて設計されなければならない。しかしケースを作るということは、オプションに合わせて箱のようなスペースを割り当てるという単純なものではない。ケースには、電源やスピーカーのような、システムに必須の構成部品のスペースがあるだけではなく、回路基板や周辺装置に冷たい新鮮な空気を運ぶために、マシン内部のすべての部品が、その周りを空気が自由に流れるように配置する必要もあるのだ。

とはいえ、必ずしもすべてのメーカーが、このような配慮をしてケースを作っているわけではない。ただ単に、プラスチックケースや板金加工ケースの専門メーカーから、適当な箱を選んでいるだけのコンピュータメーカーも（大部分とはいわないが）多い。ケースメーカーの深慮に、まぐれ当たりの要素も加わって、結果としては、ケースとコンピュータ内部の合体はうまくいき、ケースを販売をしたケースメーカーも、安いケースを手に入れたコンピュータメーカーも、そしてそのシステムを購入したユーザーも、すべてが満足している。

それでも、パーソナルコンピュータを選んだり、自分専用のコンピュータシステムを入れるケースを購入する際には、ユーザーは様々な中から選択しなければならないことには変わりない。正しい選択を行うために、そして、自分のコンピュータが全体として自分のニーズに合い、今後も変わらずそうあり続けることを確信できるようにするには、どのような選択肢があるのか知っておく必要がある。

PC／XTケース

ケースについて最初に検討を始めなければならないのは、オリジナルのIBM PCとその従兄弟にあたるXTの金属ケースである。このケースによって、その後のすべてのパーソナルコンピュータのパターンが決まり、パーソナルコンピュータはほとんど例外なく、PC／XTのレイアウトのバリエーションの１つを使用している。PCとXTのケースは、外見的には同じでも実際には異なるもので、両者の違いは拡張スロットの間隔と数にある（PCは１インチ間隔で５つのスロットがあり、XTは0.8インチ間隔で８つのスロットがある）。

このオリジナルのケースの基本設計は、機能と適合性に基づいてなされている。ケース前面には、当時流通していた小型ディスク（5.25インチ）用のドライブ２台分のスペースがあり、そのドライブの後ろには電源が、そしてケース左の残りの部分

にはシステムボードが取り付けられるようになっている。ケースの高さは、フルハイトドライブと拡張ボードが十分収まる高さに設定されている。

偶然にも、ケースは機能本位なものにできあがった。コンピュータのフットプリント（机上に必要な占有面積）は幅21インチ、奥行き17インチとなり、高さは拡張ボードの寸法に加えてその下に3/8インチの余裕を加えて、5.5インチとなった。

コンピュータの将来の変化に対応できるように、組み立て方法は簡単で安価なものが考えられた。その結果、ケースの底はコンピュータのシャシー（システムの重要な全機械部品がねじ止めされる台またはフレーム）になり、上部はさらに簡単で、両サイドが内側に巻き込まれた平らなスチール板となった。この設計では、スチール製の底パネル、フロントパネル、バックパネルはみな1つのシャシーでできている。これは強固であるだけでなく、どの面からも電波が漏れないように防ぐのに有効だ。プラスチックの前面パネルは、唯一各ケースにオリジナリティを持たせられる部分である。

シャシーと蓋はリアパネルでつながっているが、早くもこの部分がこの設計の中で最も弱いことが明らかになった。もともとIBMは、上部と底部を固定し、シールドの役目を果たす全部の面を電気的につなげるため、3本のねじしか使っていなかった。これについては、ねじを2本加えて5本にすることで、機構的にも電気的にもより確実にした。

これ以外にも、PC/XTケース設計では、ディスクドライブの取り付けに欠点があった。フルハイトのフロッピーディスクドライブは、スチール製のトレイで形成されている2つのベイのどちらかに挿入する。ところがこの場合、もう一方のベイにドライブを搭載すると、2つのドライブの間にはねじ止めできるようなスペースがなくなってしまうため、ドライブは片側しか固定することができないのである。このため、ドライブの取り付けが不安定で、IBMはXTのハードディスクを固定するために、ケースの底からねじ止めをしなければならなかった。さらに、このケースにはハーフハイトドライブ用のベイがなかった。このマシンが登場した当時は、ハーフハイトドライブが流通することはしばらくないと考えられるような状況であったことは理解できるが、ユーザーがこのシステムをアップグレードしようとした場合に、これが大きな悩みの種となった。

ATケース

IBMは自社のパーソナルコンピュータを改良し、ATでは新しいケース設計によって、これらの問題を取り除いた。この設計は、ほぼ10年間にわたって業界の標準として存在している。シャシーとそれに合わせた蓋（どちらもスチール製）とプラスチックのフロントパネル（およびマシンの後部にはまる取り外しの簡単なプラスチックパネル）という設計の基礎的な部分は、基本的にXTのものが継承された。当時としては進んだ設計だったATは、前より大きなシステムボードが必要で、これに合わせてシステムユニットは2インチ広げられ（23×17インチになった）、高さは1インチ増えた。これにより、前より長い拡張ボードと、大容量記憶装置用のベイに3つのハーフハイトドライブが搭載できるようになった。また、容量は多いが、そのぶん高さのある電源用のスペースも確保できた。ただし、大型のシステムボードを入れるために、電源の土台部分は切り取らなければならなかった。

PC同様、大容量記憶装置用ベイは、2台分が横に並んで搭載されているが、IBMは内側（左側）のベイを、メディア交換用のフロントパネルが必要ないハードディスク用とした。大型のシステムボードはドライブベイの下にも回路用のスペースが必要なため、この内側のベイの端は底から1インチ以上離れている必要があり、このベイに搭載できるのはフルハイトドライブ1台だけに限られた。一方、外側（右側）のベイはハーフハイトドライブ3台分のスペースがある。

ATのケースにおける真の革新は、ドライブの実装方法である。大容量記憶装置は、ドライブベイの両側の溝にスライドさせる強固な取り付けレールで両サイドを固定されるようになり、おかげで、PCの片側固定式のように、出荷時にがたがた動くようなことがなくなった。

新設計によって、ドライブの着脱も比較的容易

になったが、それでも手が小さいかよほど皮膚が丈夫でない限り、ドライブの後ろに手を伸ばして様々なケーブルをつないだりはずしたりするときには、手を傷つけかねなかった。取り付けレールは、シャシーのフロントパネルにねじ留めされた2つのブラケットで固定されている。ブラケットはほとんどがL型であるが、U型のもの（左右のベイの間にぴったりはまる）も一部ある。どちらのタイプのブラケットの場合でも、ブラケットの後方へ突き出た1本もしくは2本のアームが、取り付けレールを溝に押し付けて固定している。

ATのドライブを引き出すには、取り付けレールを固定している2つのブラケットを取り外してから、ドライブを少し前方にスライドさせるだけでよい。ドライブの後ろに適当なゆとりがあれば、ケーブル（グランド線を含む）を抜くことができる。電源ケーブルがないドライブの場合は、前方にまっすぐに引き出してシャシーから取り出せる。

ドライブの取り付けは、この逆の手順になる。ドライブをベイにスライドさせる前に、まず、ドライブを動かす途中にケーブルがないことを確認した上で、ドライブを3分の2程度スライドさせ、ケーブルと接続してから、止まるまで後ろに押し込む。ブラケットの1つをねじ穴に合うようにかぶせ、アームがドライブレールの端に付くように固定して、ねじで留める。同様にしてもう1つのブラケットをはめると、ドライブがしっかり固定される。

ATのケースには、勝手に他人がアクセスできないような機構も付いている。フロントパネルの左側のインジケータパネルにシリンダ式のキーがあり、これでケースにカバーをロックできる（同時にキーボードも電気的にロックされる）。

IBMはATのケースについてこれ以上の開発は行わなかったが、様々な互換機がATのケースの細部を改良している。ほとんどのAT互換機は、ケースの中のドライブの位置すべてに対して、フロントパネルに取り出し口を加えた。また、ほとんどのマシンの内部ベイは、2台のハーフハイトドライブか1台のフルハイトドライブのどちらでも搭載できるように区切られている。

小型化

2、3インチというと、さほどでもないように思われるかもしれないが、実際、XTとATのこの差は、両者の全体的な外観を大きく変えている。XTは〝机上に置く〟といったいい方で表わすことができるが、ATは〝机を占領する〟といったような感じである。しかし、ATのこの大きさは、一方で長所をもたらしている。第一に、より多くの回路と機能を1つにした、より大きな拡張ボードを搭載できるようになったということがある。

互換機メーカーの中には、素晴らしい折衷案を思い付いたところがある。つまり、占有面積がXTサイズで高さがATサイズのケースである。こうしてできたのが「ミニAT」である。水平方向のサイズやシステムボードのサイズを始めとする内部構造は、XT規格と同じである点からいえば、〝長型XT〟ケースと呼んだほうがよいだろうか。ATケースと同じなのは、拡張スロットの領域とドライブベイの高さだけである。この設計の長所は、単に占有スペースが少なくてすむということだけだ。一方短所は、ATよりサイズが小さくなったことにより、拡張ボードの領域が削られたことである。このため、1本か2本スロットをなくすか、短いスロットにして切り詰めている場合がある。内部はきつくなった上、全体的に節約できたスペースは実際はわずかである。

小型化の次なる段階は小型フットプリントPCで、このケースは、AT用の大きな拡張ボードが搭載できるように、高さはATと同じになっているが、XTより縦横の長さが縮小されている。このケースでも、しわ寄せは拡張部分にきており、スロットは8本から5本または6本に減っている。また、内部のドライブベイにも縮小化の影響が及んでおり、小型フットプリントマシンの中には、ベイを完全に取り去ったものと、代わりにベイを4分の1にして、3.5インチのハードディスクしか搭載できないようにしているものがある（これらは端に並べられているのが一般的）。

今日の小さなドライブを使えば、ベイをさらに縮小することが可能で、したがってケースも小さくできる。現在のデスクトップマシンの中で最小のものは、3.5インチのリムーバブルメディアドラ

イブを、内部に隠れるように搭載されるもう1つの3.5インチハードディスクベイに並べて配置しているのが一般的だ。このマシンは、小型ドライブの特徴を利用して、ケースの小型化を実現しているわけである。また、長いATサイズの拡張ボードを搭載できるスペースを確保しながら、ケースの高さを削るために、オプションを端へ移動させている。ボードを、スロットを縦に並べるさせる代わりに、横に並べるという方法も採られている。システムボードがケースに対して水平に搭載される点は変わりなく、ATタイプの拡張スロットが1本付いているのが一般的である。そして、特殊な拡張ボード(**ライザーボード**)が、片側にある追加のATバススロットコネクタによって縦に接続され、これによって通常の拡張ボード(一般に3枚)がシステムボードに平行に搭載できる。

このように、縮小設計にはスペースと拡張性に制約が生じるが、それ以外にも、水平に搭載される拡張ボードによって別の欠点も生じる。このボード自身によって、ボード上の部品を冷却する空気の正常な対流が妨げられるのである。また、ボードが接近して搭載されることにより、下のボードがストーブの働きをして、上のボードを熱してしまう。ただ、(システムボードに統合される機能が多くなることにより)搭載される拡張ボードが少なくなり、また、LSI技術の進歩によって、消費電力および回路によって生成される熱が少なくなるに従い、この問題は小さくなる。とはいえ、このようなマシンを持っている人は、拡張ボードの中で最も搭載された部品の多いものを一番上に持ってきて、ほかのボードが温まらないようにしたほうがよいだろう。

IBMは、最初のPS/2マシンの導入と共に、ダウンサイジングの基本思想を受け入れた。より小型のドライブを採用し、大きな古い拡張ボードを捨てることによって、自社のそびえ立つようなデスクトップマシンを、もっと低いマシンに縮小化したのである。XTボードより1インチ短いマイクロチャネル拡張ボードを使うことによって、マイクロチャネルPS/2デスクトップマシンは、その分高さを低くすることができた。また、スロットの数を3本に減らすことで(拡張ボードの向きは縦のまま)、空気の対流による冷却効果の点で譲歩することなく、システムの占有面積の縮小をはかっている。

ただし最近のPS/2は、拡張性のニーズの変化に伴いケースを大きくしている。IBMは、PS/2においては、古い5.25インチ形式のドライブ捨てても差し支えないと考えたのである。これはもちろん、CD ROMがマルチメディアシステムにとって不可欠なものとなり、IBMは、CD ROMや同様のドライブを収容するために、PS/2のケース(モデル57や90など)を大きくせざるをえなかったということでもある。

ラップトップとノートブック

コンピュータの縮小化における1つの究極点がノートパソコンである。これは、キーボードと画面の大きさは操作性を維持しながら(キーボードは手で操作でき、画面は表示を見て問題ない大きさ)、構成部品が許す限り最小限に縮小したコンピュータである。ここまでコンピュータを小型化するということは、すべてが何らかの譲歩をしなければならないということであり、システムのほぼすべての部分に妥協の跡が認められる。

この妥協が最も少ないのが大容量記憶装置である。これは、ノートパソコンやこれよりはるかに小さいサイズのパソコン用として、小型で軽量なドライブに対する需要が、フロッピーやハードディスクの小型化の大きな推進力となったためである。ドライブメーカーは驚異的な成功をおさめ、ドライブのサイズを縮小する一方で容量を増やし、性能と信頼性を向上させてきた。

小型化のために行われた最大の妥協は、ユーザーインターフェイスに表われている。コンピュータをポータブルにするということは、人間が運ぶことができるものにするということである。つまり、ポータブルというからには、ロープでひとまとめにして体に括りつけるようなものではなく、手頃な1つのパッケージに収められたものでなくてはならないのだ。残念ながら、ユーザーインターフェイスには、使い勝手を捨てなければ小型化できない面がいくつかある。より小型で、より軽量なコンピュータの要求に合わせて、人間の手のほうを

小さくするなどというのは無理な話で、したがって、キーボードは、キーボードに求められる最適な大きさ以下には縮小できない。しかし、過剰に見えるもの、たとえば、ファンクションキーのまわりのスペースやいくつかのキーなどは削ってしまいたい思いがメーカーに残る。

ノートパソコンメーカーは、長さや幅だけでなく、キーストロークとキートップの高さを削ることによって、キーボード全体の厚さも減らした。キートップの高さを変えても目立たないが、キーストロークの変化は、タイピングの感触と使い勝手に大きな影響を与える。これらはほとんどユーザーの好みだが、フルサイズのマシンと比べたとき、小型コンピュータの小さく切り詰められたキーボードに対する不満は大きいはずだ。

ディスプレイもまた妥協の対象だ。分厚いブラウン管ディスプレイに代わってフラットスクリーンが使用されているが、このフラットスクリーンの大きさはノートパソコンのケースの大きさによって制限される。これよりも重要なのは、小型システムはATバスの拡張ボードと互換性がないことである。ボード1枚でラップトップマシンのそれ以外の部分と同じだけの電力を消費し、結果としてバッテリ寿命を相応分縮めてしまうフルサイズの拡張ボードは、電力節約の考えとは相容れないものである。このため、ほとんどのラップトップパソコンおよびほぼすべてのノートパソコンは、従来の拡張ボードを搭載することはできない。その代わりにこれらのマシンは、専用の拡張装置に対応したり、PCMCIA規格に準拠したクレジットカードサイズの拡張モジュールをサポートしたりしている。

ラップトップのケースでは、内部へのアクセス方法が大きな懸案事項になる。システムのメモリを拡張しようという予定がある人は、マシンを完全に分解しなくても、メモリモジュールかメモリカードを増設できるようなラップトップマシンが欲しいだろう。取り扱いが最も簡単なマシンでは、アクセスパネルの裏にスロットを搭載していて、フロッピーディスクと同じくらい簡単に、そこにメモリカードをスライドして装着できる。ほかに、メモリモジュール増設用のアクセス蓋が付いているものもある。これらの拡張方法の唯一の欠点は、マシンがサポートしているメモリの拡張容量である。一般に1Mバイトから8Mバイトがサポートされており、現在のアプリケーションにはこの容量で十分だが、プログラマが徹夜して作り上げたような大容量のアプリケーションには足りない。多くのノートブックコンピュータ、特に通信販売会社の自社ブランドを付けた低価格のモデルは、メモリモジュール用のソケットにアクセスするには、ユーザーがキーボードをはずさなければならない。これだけでも技能と忍耐を要する手間のかかる作業であるにもかかわらず、中には、拡張ソケットにアクセスするために、ディスプレイ部分まではずさなければならないモデルも少ないながらある。ノートブックやラップトップシステムを拡張する計画のある人は、サポートされているメモリの拡張容量とRAMの増設方法をチェックする必要があるだろう。

ラップトップマシンやノートパソコンのキー設計の特徴は携帯性である。これらのマシンでは、人間工学的に容認できる範囲で、可能な限り小型軽量なものが求められる。旧式のラップトップマシンには取っ手が内蔵されていたが、新しいマシンでは無用のものとなっている。重さが5ポンド以下、ときにはプリンタ用紙の束より軽いことさえある現在のマシンでは、取っ手がなくても問題はない。そのまま手で持っても、鞄の中に入れても運べる大きさであり重さなのだ。

かつては、最も頑丈なラップトップコンピュータのケースは金属製(多くの場合、強いわりに軽量なマグネシウム合金が使用された)だったが、現在ではほぼすべてのマシンが、耐衝撃性の高いプラスチックを使用している。一般にこれらのマシンは、日常的な酷使に耐えうる強さは持っているが、机から床への落下に対しては、時計やカメラ、その他の精密機器ほどの耐性はない。ケース内部の一部に金属板が使われているのを目にすることがあるだろうが、この金属板は落下による衝撃の影響を抑えるためのものではなく、放射を制限範囲内におさめるために追加されているものである。要するに、ラップトップやノートパソコンは頑丈に作られてはいるが、乱暴な扱いが命取りになる

のはほかのビジネスツールと同じである。

タワー型ケース

パーソナルコンピュータにおいて、ノートブックやパームトップマシンの方向性のまったく反対側にあるのが「タワー型システム」で、論理回路が許す限り大きく設計されている。このマシンは床の上に立てるように設計されているため、机上でマシンが占有するスペースを縮小する必要はない。代わりに、拡張性を第一に考え、システムボードの標準設計が許す限り、最大限に多くの拡張ボードとドライブベイを搭載できるようにしている。

初めてパーソナルコンピュータを縦に実装したのはATマシンである。それまでの横置き実装方法を再考して、従来のATを縦にして収容できる形のケースを作ったのである。床置きタイプとして設計されたマシンの中で、最初に主流なったのはタワー型のPS／2で、モデル60、80がある。互換機がタワー型を採用したのは、広いスペースを確保しているタワー型マシンのドライブ機構を利用するためだった。タワー型マシンの中で、8個もしくはそれ以上のドライブスペースがあるモデルは、数Gバイトクラスの容量を持つネットワークサーバとして使用されるようになった。

コンピュータの構成部品は、どのような向きで実装しても何らトラブルは発生しない。電気回路はどちらが上でどちらが下になっても構わないからだ。ただし、ハードディスク(特に古いものでサイズの大きいモデル)は、特にそれが水平方向の状態でローレベルフォーマットされている場合、立てて搭載すると支障を生じることがある。頑丈な旧式のヘッド機構の重さで、ヘッドがディスクトラックの中心から外れてしまい、ディスクの読み出しエラーが頻発するようになってしまうのである。このトラブルの解決法としては、使用するときと同じ縦方向の状態でローレベルフォーマットするのが簡単である。

タワー型のケースのもう1つの欠点は冷却だ。ほとんどのタワー型マシンは拡張ボードが水平に並んでおり、ボードが1枚1枚重なっているところは、小型フットプリントマシンとまったく同じである。このため、装置の冷却を行う空気の対流に配慮しなければ、下に搭載された電力消費の大きいボードが、上に重なっているボードを熱してしまうことになる。IBMは、タワー型PS／2マシンでは、この問題に対しては対策済みで、拡張ボードを通る空気の流れを発生させるプラスチックの溝を作り込んでいる。もっと良いタワー型システムになると、補助冷却ファンが付いている。

内部に搭載する周辺装置用のスペースが大きいことや、床にわずかな空きスペースがありさえすれば設置できるという柔軟性の点でタワー型マシンは優れている。また、大容量記憶装置の搭載機構については不満がある人もいるだろう。タワー型マシンの中には、頼りない実装手段しか用意されていないものや、ドライブを取り付けるために、パーツを組み合わせるという複雑なパズルを解くような作業を必要とするものもある。ドライブの実装方法については、たとえばATのレール機構のような、簡単で確実な方法を採用したシステムが望まれる。

そのほかのケース

IBM互換機では、独創的なケース設計はあまり行われていない。IBMの確かな設計を元にしているのだから、これはこれでよい方法である。とはいえ、過去には、風変わりで、デザイン的には素晴らしくても、非実用的な設計が現われたこともある。

ミニタワー型マシンは、〝大きな小エビ〟のような撞着語法(両立しない語を並べて逆に効果をあげようとする語法)を利用したマシンである。タワー型という物理的に最大容量を持つように設計されたものを、敢えて再び4分の1に小型化しているのだ。ミニタワー型マシンの良い点は、ケース用の材料が少なくてすむということと、本来のタワー型マシンの問題を超えるような欠点は生じないことである。とはいえ、大容量記憶装置の追加容量がないにもかかわらず、標準の高さのタワー型マシンと同じ床スペースが必要である。要するに、機能よりも形を優先させたマシンということだ。

一方、**フリップトップ式ケース**は、標準のPC／XTの構成を模倣しているが、前方にスライドさせる蓋の代わりに、ハッチ方式で持ち上げ

るカバーを使用したものである。この設計は、蓋を持ち上げるだけで簡単にコンピュータの中にアクセスできるという点では、素晴らしい機構のように思われるが、実際には思ったほどよいものでもない。マシンの中にアクセスするには、マシンの上にあるものを下ろさなければならないという点で、ほかと変わりがないからだ。さらには、拡張スロットに差し込んである周辺装置のいくつかは、ピボット式に回転する蓋の後ろ部分が、プリンタやCRTケーブルのプラグにあたってしまうため、プラグを抜かなければならないという不便さもある。フリップトップ式ケースは、結局は煩わしいだけのものである。

10.2 装置の取り付け

パーソナルコンピュータを構成する装置は、マシンのシャシーにぴったり合うものでなければならないだけでなく、安全確実に取り付けられなければならない。当然それ以外の部品も、マシンに触れるやいなやばらばらになってしまうことなどないように、しかるべき方法でしっかり設置しなければならない。

シャシーへの確実な取り付けが必要な装置の中で、最も重要なものは電源である。ほとんどの場合、電源の取り付けで問題が起こるようなことはまずない。電源のほとんどは、適当な箇所にねじ留めする(4箇所)だけの標準化された箱である(電源の設置方法については第9章で触れた)。

ただし、大きさと構造上の両方の理由から、かならずしもすべての電源がすべてのケースにぴったり入るわけではないことに注意しなければならない。ほとんどの電源はIBMスタイルに準拠しており、赤い大きな入切スイッチが本体右側の延長ブラケットに付いている。大抵のシステムのケース、特にXTやATの規格に準拠したケースは、このスイッチにアクセスできるように、右後部に切り込みを入れている。ただし、中にはリアパネルにスイッチが付いた電源を使用するように設計されているケースもいくつかある。通常、一種類のケースしか販売していないメーカーは、それに合う電源も販売している(その逆もある)。しかし、ケースもしくは電源を取り替えようとしている人は注意が必要だ。PC／XTとATの電源ではサイズが異なるため、互いに一方のケースにはきちんと収まらないことを忘れてはならない。これについては事前に知っていれば問題は起こらないだろう。

大容量記憶装置は、ケースに合わせた考慮がなされている。したがって、完全なコンピュータシステムを購入したときは、インターフェイスやコントローラなどについてあれこれ心配する必要はない。必要な作業はすべてメーカー側がすでに行っており、最適な動作を行うようにすべて調整済みである。それでも、コンピュータの性能を向上させるために、新たに大容量記憶装置を追加したり、故障したものを交換したりする際には、いくつかの条件がある。つまり、新たに搭載しようとしているドライブが、電気的にそのシステムに適合していなければならないだけでなく、物理的にもケースに合ったものでなければならない。結局のところ、いずれの装置にしても、取り付けるには、最低限、しかるべき場所に物理的に収まらなければならないのである。

フォームファクタ

ディスクドライブにも様々な厚さと幅のものがある。ドライブの大きさの基本単位は**フォームファクタ**である。フォームファクタとして使用される値は、単に特定のメディアを扱う標準的なドライブの大きさにすぎない。8インチから1.3インチまで、数種類のフォームファクタはパーソナルコンピュータに関する話の中ではよく出てくるが、この中のほとんどがいろいろな厚さの種類がある。

フルサイズドライブは、フォームファクタをの基準になるものであり、最大の容積を占めるもので、通常は、第一世代のマシンで使用されているのを目にする。フルサイズドライブの大きさが採用された理由については、特にこれといったものはないようで、恐らく設計の下図を書く日の機構エンジニアの気分に任せたのではないかと思われる。ドライブが合理的なサイズであり、ほかのメーカーがこれを利用したいと思うほど適切にできていることが分かれば、ほかのメーカーもその製品のサイズで自社の製品を作るようになり、それが標準となるのだ。

ドライブの厚さ

いずれのハードウェアもその第二世代では、当然のごとくサイズの縮小化が試みられる。製造コストの削減、製造技術の向上と製造経験の蓄積、そして、より小さなスペースに、より多くのものを入れたいという必然的な要求、これらが一緒になって縮小化を押し進めるのである。ドライブの縮小化の過程では、5.25インチや3.5インチのフォームファクタのものを始めとして、様々な小型ドライブが生まれた。5.25インチのドライブのパッケージは、オリジナルのフルハイトドライブのパッケージよりわずかに大きい。ほかに、2/3ハイト、1/2ハイト、1/3ハイト、1/4ハイトのドライブが作られたこともある。3.5インチのフォームファクタのドライブの場合は、サイズはもっと実際的に、つまり、実物の厚さをインチ単位で測定した値で表わされる。オリジナルの3.5インチドライブをフルハイトと称することもあるが、通常は約1.6インチの厚さである。次に広く使用されたドライブは、厚さが1インチちょうどのものだった。1インチ以下の厚さでは、0.6インチといった小さいものが、いくつかのドライブで使用されている。

しかし、3.5インチドライブがその面積を縮小する前には、2.5インチ、1.8インチ、1.3インチといった、もっと小さいフォームファクタが実用化された。2.5インチのドライブは基本的にはノートパソコン用に設計されたものである。さらに小さなドライブはパームトップコンピュータに合わせたもので、クレジットカードサイズの拡張ボード上に載せることもできる。このような3.5インチ以下のドライブを使った製品では、ドライブをベースしてそれに合わせてシステム(あるいは、少なくともケースやほかのパッケージ部分)を設計するという方法がとられていることは、特筆すべき点であろう。近い将来、こういった小型の製品が、デスクトップマシンに使用されるのも、めずらしいことではなくなるだろう。

小型ドライブに関する重要な法則は、〝大は小を兼ねる〟、つまり、小さなドライブは、それより大きいフォームファクタ用に設計されているドライブベイに合わせて、調節できるどいうことである。たとえば、5.25インチのドライブベイに3.5インチのドライブを合わせるキットがあり、それがドライブの付属品になっていることも多い。

ドライブの取り付け

ドライブベイに大容量記憶装置を取り付けるのは、実際きわめて簡単である。大抵のディスクドライブやテープドライブは、ドライブを固定するねじ穴が、底と両サイドに数個付いており、取り付けはこれらの穴にねじを差して数回しめるだけでよい。したがってドライブの取り付けにはほんの数分しかかからない。ドライブをベイに取り付けたり外したりするには、ねじ回しの使い方され分かれば十分である。

しかし、問題はドライブベイで、これはそれほど単純ではない。ドライブを取り付けるには、ねじを通す穴のほかにも、ドライブベイにアクセスしなければならない。システムの中には、不慣れなユーザーにとって難解なものもある。

PC/XT型ドライブベイ

オリジナルのPCやXT、およびその互換機のドライブベイは、比較的簡単な(実際それほどの効果はないとしても)取り付けトレイをベースにしている。トレイの両側面は上に曲がっており、そこには、5.25インチフルハイトの大容量記憶装置の両サイドの2個のねじ穴に合わせて、同様に取り付け穴があいている。ベイに入れたドライブの左側にアクセスする際には、短いねじ回しを使って、相当器用にやっても手が傷ついてしまうのに

耐えるか、内部の拡張カードをすべて、もしくはほとんど取り外す必要がある。

この作業で難しいのは、ドライブのねじ穴とベイの取り付け穴もしくはスロットを合わせることだ。コンピュータのフロントパネルとドライブの前面を揃えなければならないし、また、スロットからはずれないように頭の大きいねじ（金物屋で入手する場合は〝バインダーヘッドねじ〞が最もよい）を使う必要もある。

先に触れたように、ドライブのサイドの2本のねじでは、特に薄い金属板でできた安いケースの場合、適切な実装の安全性は得られない。テープカートリッジドライブをこのようなベイにスライドさせると、テープを入れるたびにベイ全体を0.5インチほど折ってしまうことになるだろう。IBMは実装を確実にするために、XT用ハードディスクドライブには余分にねじを追加しているので、これを使うとよい。方法は、まず、取り付けたいドライブの底のねじ穴の1つに合わせてベイに印を付け、取り付けトレイの底にそれに合わせた穴をあける。そして、その位置に合わせて、取り付けトレイの底までねじ（およびねじ回し）が通る大きさの穴をケースの底にもあければよい。

ほかにもう1つ問題が生じるのは、IBMのPCやXTのドライブベイにハーフハイトドライブを取り付ける場合である。各スロットにハーフハイトドライブを1台ずつ取り付けるには、取り付け用の穴を使って、ドライブの上に余ったスペースは、ハーフハイトパネルでふさぐだけでよい。

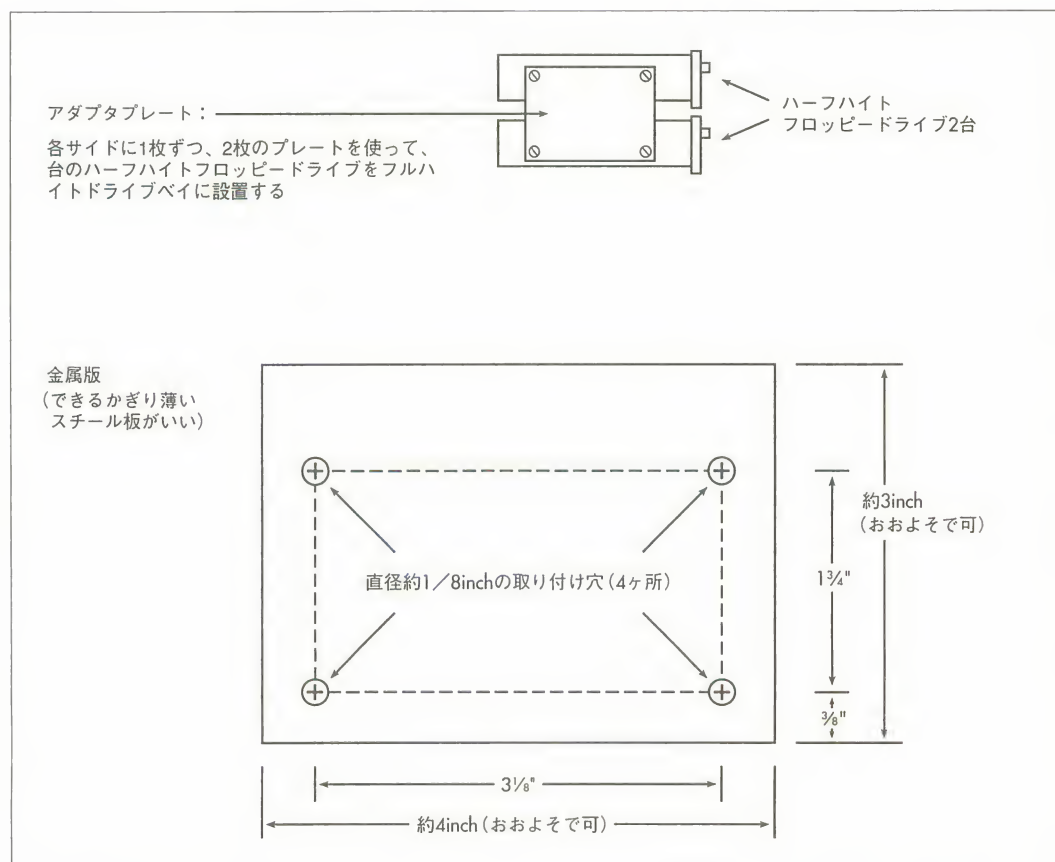



図10-1　ハーフハイトドライブ用アダプタプレート

ところが、フルハイトベイに2台のハーフハイトドライブを取り付けようとすると、ねじ穴の位置が合わず、ねじが空回りすることになる。ほとんどの互換機では、ハーフハイトドライブを重ねて2台取り付けられるように、取り付けトレイの各サイドにドライブ取り付け用の穴が2組みあるが、これに対しIBMは1組みの穴しか用意しておらず、各ベイの上側を切り落としているため、ユーザーは簡単に自分で穴をあけることができない。

これを解決するには、2枚のハーフハイト用アダプタプレートを作ればよい。アダプタプレートは、基本的にはたくさんの溝か穴の付いた、ただの薄いスチール板で、これを使って2台のハーフハイトドライブをつなげて1つのユニットにして、フルハイトドライブベイに取り付けるのである。前ページ図10-1に簡単に作れるアダプタプレートの一例を示した。

これらのアダプタプレートを使ってドライブを取り付けるのは想像以上に難しい。2台のドライブをつなげるのも、つなげたユニット全体をドライブベイにスライドするのも簡単ではない。ねじの頭（ときにはプレート自体の厚さも）によって、ドライブの幅が大きくなってしまい、フロントパネルの口からスライドさせることができなくなるのである。

したがってその場合は、次の手順で取り付けを行わなければならない。まず、2台のハーフハイトドライブを、トレイに付ける側の反対側だけアダプタプレートでつなげる。それを、そのままドライブベイへスライドする。

ドライブを適当な位置に合わせ、固定しない状態のままで、必要なケーブルをすべてドライブにつなぐ。ケーブルをすべて差し込んだら、もう1枚のアダプタプレートをドライブとベイの間に滑り込ませ、ベイの2つの穴からねじを差して、プレートと下のドライブをねじ留めする。最後に上のドライブをねじ留めして終わりである。

AT型ドライブベイ

ATで開発された改良型のドライブ取り付け方法では、もうひとつ機構が追加される。取り付けレールである。この取り付けレールの使用によって問題が解決されると同時に、新たな問題も生まれた。つまり、良い面として、多少の地震にも耐えうる真に安全確実な実装システムが実現された一方で、レールの取り付け過程に問題があり、後にならないと気付かないような手順の間違いを犯しやすく、ドライブに何度もレールを留めたりはずしたりしなければならない。

レールの取り付けに関する第一の問題はレール自身にある。IBMは自社のレール設計を変えずに、大容量記憶装置用の補助シャシーを持つタワー型ATを含めて、すべてのATケースに一貫して同じ設計を使用してきたが、これに倣わなかったメーカーもある。IBMの実装方法を寸法までそっくりまねたAT互換ケースがたくさんある一方で、特に大手メーカー（Compaqなど）は、自社独自のレール設計を採用している。図10-2は、標準のAT用の取り付けレールと、Compaqが使用しているレールの寸法図である。

本来のAT式のレールを見つけるのは簡単である。ドライブ装置のベンダーの多くが、AT式のレールを製品の付属品としていたり、事前にAT式レールを装置に取り付けてからユーザーに送っているからだ。互換機のレールは多種多様で、正確なサイズが知りたければ、コンピュータメーカーもしくは、パーツの品揃えが完全な指定販売店に連絡しなければならなことになる。

AT型のコンピュータメーカーの多くは、各ベイに実際にドライブを取り付けるかどうかに関係なく、自社の製品のすべてのドライブベイにレールを取り付けることによって、この問題を軽減している。

AT式のレールにも様々なものがある。正式なIBMのレールは、ドライブの右側用のものと左側用のものは同じではない。取り付け穴は2つしかない。アフターマーケットのレールは、穴もしくはスロットが4つか8つ付いている場合があり、さらに、両端を四角にして完全な左右対称形にしているものがある。

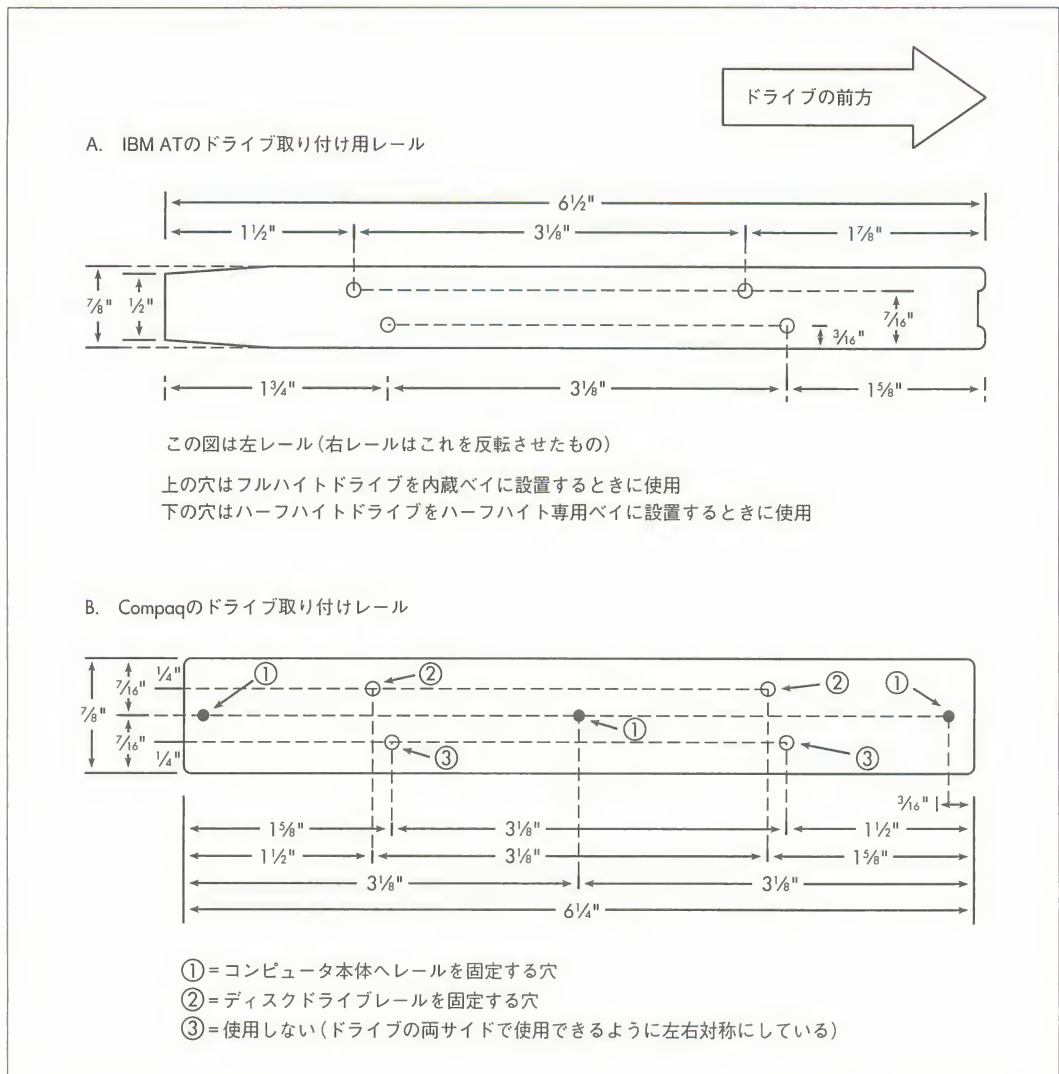



図 10-2　IBM AT と Compaq のドライブ取り付け用レール

これらのレールは、ドライブの左右どちらのサイドでも使用できるようにという意図で作られたもので、素晴らしい設計配慮であるといえるが、同時にこのように穴が多くなると、適切な位置にドライブを設置できる穴はどれかを見つけるのが大変になってくる。

本来の非対称形のIBMのレールの場合、ドライブの後部側にくるレールの端が細くなっており、これでレールの正しい向きを判別する。レールが正しい向きになっていれば、レールを留めるねじは、上下2組みの取り付け穴のうち下のほうの穴に入る。IBM AT式以外のレールでは、ドライブの側面の低いほうの穴に合わせて、レールの低いほうの穴（細いほうがドライブの後部にくる場合）を使用するのが一般的な決まりになっている。ただし、違った位置に穴を設けている変ったレールもある。新しいドライブにレールを取り付ける場合は、取り付け用ブラケットを固定してケースの蓋を閉めてしまう前に、ドライブが正しい位置に揃っているか確認したほうがよいだろう。

ドライブの取り付け方法は次のとおりである。レールをドライブに取り付けたらベイにスライドさせる。ドライブをベイの後ろまで押し込み、マシンのパネルに合った適切な高さと奥行きになっているか確認する。よければ、少し引き出して全部の電気接続を行い、最終的に収まるべき位置までドライブ押し戻す。AT型のケースの場合、レールとドライブを固定するために、フロントパネルのブラケットにねじ留めする。互換ケースの中には、ブラケットがレール自体の一部になっているものもある。これらはマシンのフロントパネルに直接付けられる。

PS／2のベイ

IBMは、PS／2シリーズのコンピュータで装置の取り付け方法を刷新し、どの装置も道具を使わずに取り付け、取り外しができるようにした。ほとんどのシステムの5.25インチドライブがATのレール式方法を使用し続けているのに対し、3.5インチのフォームファクタに準じたドライブは、プラスチックの特殊な**スレッド**（そりのようなもの）の上に取り付ける方法をとっている。

IBM式のドライブスレッドは、3.5インチドライブの底にねじ留めするプラスチックの台座で、ガイドレールに沿ってドライブベイへスライドされ、スレッドの一部であるラッチによって決まった位置にパチンとはめ込まれる。IBM設計はスレッドをドライブのシャシーと一体化してもいいようになっているが、これまでのところドライブメーカーにこの設計は受け入れられていない。図10-3に、IBM式のドライブスレッドを示す。

スレッドの付け外しを行うためにドライブベイにアクセスするには、前面のパネルをはずさなければならない。スレッドは、パネルに一体化されているプラスチックの留め具で固定されている。フロントパネルは、前から0.5インチほどの位置にある継ぎ目のところから取り外す。後は指以外の道具は一切使わずにスレッドを引き出すことができる。

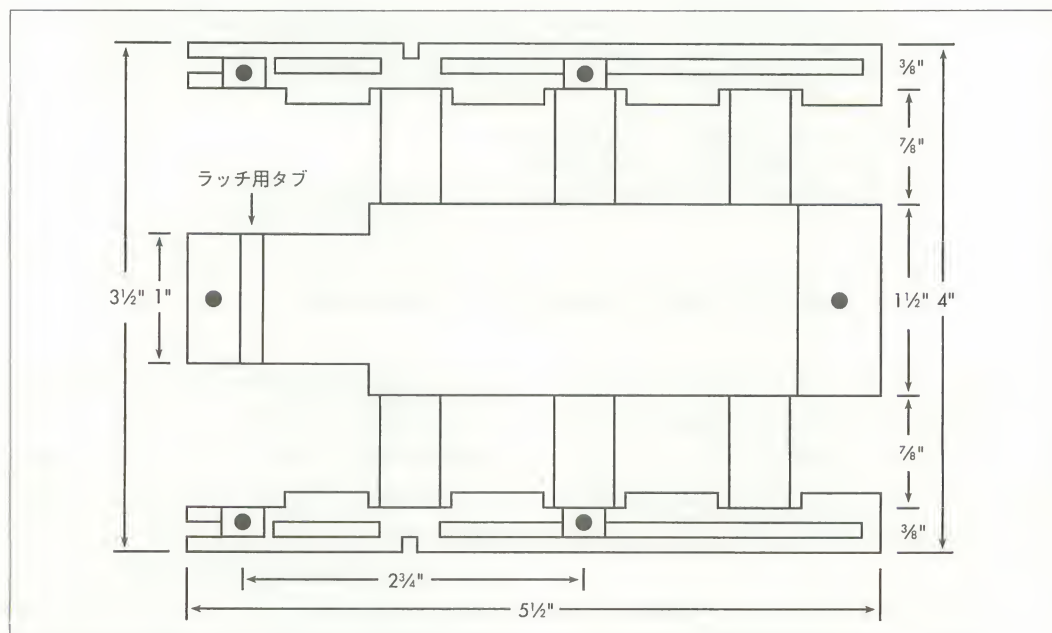



図10-3　PS／2の3.5インチハードディスク取り付け用スレッド（概寸）

ベイの後部にある〝フローティング〟コネクタ（自由に動くコネクタ）は、自動的にドライブのエッジコネクタとつながる。このコネクタは、信号を伝えるほかにも、ドライブに電力を供給するので、別に電力用のコネクタはいらない。

ドライブがベイに完全に押し込まれると、ドライブの底のラッチが締まりドライブが固定される。ドライブを取り外すには、このラッチをはずさなければならないが、それにはドライブの下の中央にあるタブを持ち上げるだけでよい。タブを持ち上げてラッチをはずしながら、ドライブを前方に強く引き出す。最初にベイの後ろのコネクタからドライブをはずしておけば、後は簡単かつスムーズにドライブは引き出せる。

5.25インチのドライブが搭載されるタワー型PS／2システムでは、AT式のレールシステムが継承されているが、レールが各ドライブに付けられている場合は、道具がなくても取り付けできるような対応がされている（図10-4参照）。このシステムでは、ATに使用されている簡単なスチールの溝に代わり、ドライブを固定するために頑丈なケージを使う。ケージには1台もしくは2台のドライブが収まり、そのうちの1台はフロントパネルから顔がみえるようになっている。固定はねじの締め付けによって行われている。ねじは、大きな青いひなぎくのような形をしたプラスチックのつまみを回して締めるのだが、このつまみは、道具がなくても手で回せるように考えられたものである。

1台用のシステムにドライブを取り付けるには、ケージの真ん中の開口部分からレールの付いたドライブを下におろすだけでいい。この時、ドライブは後部のコネクタがシャシーの中央に最も近いところで終わるような向きにする。ケージの中にドライブをおろしたら、止まるまで後ろに押して、ひなぎく型のつまみを締める。

2台用のドライブシステムの取り付け方法はもう少し難しい。というのは、1台のドライブが邪魔になって、シャシーの中央の開口部分から次の1台を入れることができなくなるからだ。このため、シャシーの後部に置くドライブを最初にケージに入れて、続いて2台目のドライブをシャシーの前面の開いた部分からケージにスライドすることになる。

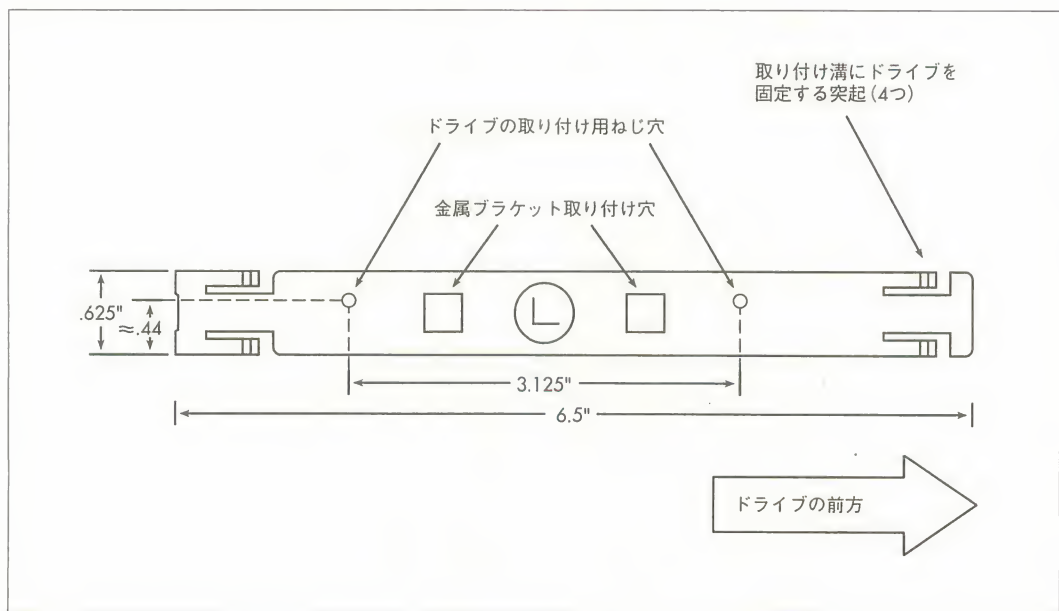



図10-4　タワー型コンピュータ用の内部ハードディスクレール

この場合、アクセスできるようにフロントパネルのベゼル(化粧蓋)をはずせばよい。前面に取り付けられたドライブは、後部のユニットに合わせた位置に固定される。

そのほかのベイ

ほかの互換システムは独自の道を歩んだ。そのほとんどは、直接取り付け方式か着脱式補助ベイを使用する方法のどちらかのバリエーションである。

直接取り付け方式は、その名のとおりで、最初のPCのように、ドライブはマシン本体のベイに直接ねじで留める方法である。違いは、ほとんどの互換機のほうが、最近のドライブサイズと互換性かあるという点である。これらはディスクのフォームファクタの基本的なバリエーションに対応している。この方法の唯一のこつは、ドライブ固定用のねじにアクセスする方法を見つけることである。

しかし、いくつかのケースではアクセスが不可能なものがある。たとえば、3.5インチドライブ用のベイが、ベイの底にアクセスできるようになっていない従来の大きなベイの上か下に押し込まれていることがある。このようなシステムでは、ドライブが直接取り付けられる可動式の補助ベイにドライブを取り付けて、もっと簡単に手の届く留め具で所定の場所に固定する。もう1つのバリエーションに、ALRタワー型コンピュータで使用されているドライブトレイがある。ドライブは底のねじ穴を使ってトレイへ取り付けられ、そのまま本体の側面にねじ留めされる。ケースの反対側のカバープレートは、各トレイの反対側を支えるために差し込まれる。

10.3　冷却

熱は、電流の流れによって必然的に生じる副産物である。すべての回路(超電導体でできていれば別だが)を流れる電気の一部は、回路につきものの電気抵抗によって熱に変わる。また、コンピュータによって消費される電気のほとんどすべてが、最終的には熱に変わる。

コンピュータの保護(および収容)を目的としたケースの内部では、こうして生じた熱が温度を上昇させている。熱は半導体回路の最大の敵である。回路の寿命を大きく縮めたり、致命的な障害を引き起こしたりする。したがって、過度に生じた熱に対しては、何らかの回避策を取らなければならない。実際には、ほとんどのパーソナルコンピュータでは、発生した熱が、半導体回路にとって直ちに致命傷となるわけではない。たとえば、ほとんどのマイクロプロセッサは、自分自身あるいはコンピュータ内部のほかの構成部品が、取り返しのつかないダメージを受ける前に、シャットダウンするようになっている(あるいはコンピュータのシャットダウンを促すエラーを生成するだけの場合もある)。とはいえ、熱は、回路の老朽化を早め、回路の構成部品の寿命を縮める可能性がある。これに対しシステムを冷却させておけば、寿命を延ばすことができるのである。

自然対流

コンピュータを冷却しながら動作させるには、熱を逃すためにケースに穴をあけるという方法がひとつある。ただしこの穴は、中にねずみやミルクセーキ等の異物が入り込まない程度の大きさにしなければならない。こうして穴をあけておけば、自然対流が発生して、密度の低い空気は上昇し、代わりにそこへ穴をから密度の濃い冷たい空気が流れ込み、これによってケースからは余分な熱エネルギーが押し出される。

強制冷却

残念ながら、IBM規格のコンピュータ(いくつかのラップトップは除く)では、自然対流による放熱量を超える熱を生成してしまう。このため、こ

れらのマシンには熱を回路から追い出す強制冷却の手段が必要である。この場合に使用されるのがファンである。

一般にコンピュータ用のファンは電源内部に組み込まれていて、空気が電源内部およびコンピュータの双方を循環するようにしている。空気が循環するようにファンは冷たい空気を中に吸い込み、熱くなった空気を外に吹き出している。

しかし、初期のPCの冷却システムは誤った使われ方をされていた。ファンは主に電源内部の熱を生成する回路を冷却するために使われ、コンピュータ内部の冷却は付随的に行われるような設計になっていたのである。さらに、たまたまシステムの設計が、冷たい空気のほとんどをフロッピーディスクドライブのスロットから吸い込むようになってしまっていたため、ドライブにメディアが入っていても、一緒に埃などの空気中に漂っている汚れも引き入れてしまっていた。

XTは、PCよりも消費電力が大きいにもかかわらず、通気はPCよりも悪かった。またXTではXT独自の問題も発生した。拡張カードを始めとしてコンピュータのあらゆる部分の空気の流れが不十分で(実際には各部分の配置が悪すぎたため)、容認できるレベルにマシン全体の温度を保つことができなかったのである。このため、XT以降のモデルは改良され、シャシー前面の底部の一部の一連の通気孔は廃止された。この孔がなくなったことにより、システムユニット全体の空気の循環が良くなり、構成部品を冷却することが可能になった。

しかし残念ながら、大部分のコンピュータメーカーは、XTシステムほど進歩していない冷却システムを使っている。こうしたメーカーは、せいぜい熱を放射する面積が大きくなるように、マイクロプロセッサにヒートシンクを装着しているだけである。大部分のメーカーは現在でも、システムに冷却した空気を流す仕組みとしては、電源のファンを使用するだけなのである。

進んだ冷却システム

中には、冷却システムについて配慮されているコンピュータユニットもある。IBMのタワー型PS/2はその典型的な例で、冷たい空気が最も必要な場所へ流れるようになっている。また、電源のファンで発生する空気の流れを補うために、別のファンを追加しているメーカーもわずかにある。

しかし、大部分のシステムでは、冷却システムはまだまだ改良の余地がある。たとえばコンピュータの後部パネルに補助ファンを付けたり、補強ファンの付いた電源が利用できる。これらはまさにシステムユニットの空気循環を促進して、ユニット内部の温度を下げ、構成部品の寿命を延長できる。ただし、この追加の冷却装置によって、コンピュータ内部の構成部品の寿命が伸びているかどうかを示す、信頼できるデータはない。いずれにしても、考えられる限りの付属品をすべてマシンに搭載するのでなければ、このような装置は安心感を与えるという目的以外には必要ないだろう。

一方、いずれのコンピュータでも、冷却システムの空気の通り道を遮ることは致命的である。これによりケース内部は回復できないほどの高温になってしまう。したがって、空気の循環に支障をきたすような狭いところ(コンピュータがぴったり収まる机の引き出や棚の中など)にコンピュータを置いたり、ケースの冷却スロットや通風孔をふさがないように注意しなければならない。

ファンの故障

電源内部のファンは必需品であり、決して贅沢品ではない。ファンが作動しないとコンピュータは始めはうまく動作していても、じきに内部の温度が上昇するに伴い、動作が不安定になってくる。コンピュータ、特に電源部は、加熱によって破滅的な障害さえ発生することがある。

ファンの故障の兆候はかすかだが、必ず気がつく。たとえば、システムから聞こえる雑音が変わったり、部品の温度が安全動作温度を超えると何かが焼けるようなにおいがしてくるのである。

いずれかの兆候に気がついたら、空気が通常コンピュータから出てくる(PCおよびATでは、中にファンが見える大きな丸い開口部がある)部分の近くに手を置いてみるとよい。風が感じられなければ、ファンが動いていないのは確実だ。

ファンの故障によって緊急事態が発生する。ファ

ンが故障したら、すぐに作業を中断してマシンを停止しなければならない。少しの間ならシステムを安全に使用できるとはいえ、なるべく早くファンや電源を交換したほうがよい。

10.4　無線周波数の放射

熱以外にも電気回路からは電磁波が放射されている。電気エネルギーの流れがあるところからは、必ず電磁波が放射されている。ラジオやテレビの放送局は、地方にまで届くように、アンテナを通して何kWものエネルギーを送り出し、ラジオやテレビはそのエネルギーを引き込んで、人々を楽しませたり、ときには不快にしたりしているのである。

無線周波数干渉

規模が小さいとはいえ、すべてのコンピュータ内部の電気回路にも、これと同様の作用がある。コンピュータに電気が投入された瞬間、電気回路は電磁エネルギーを放射し、また、処理がピークに達したときにも、同様に放射が行われる。問題なのは、コンピュータ回路からは、ラジオ局やテレビ局、航空管制システム、ある頭文字の政府機関が壁に埋めこんだ盗聴器などに使用される周波数の範囲を含む、様々な幅の周波数が放射されることである。これらのコンピュータ内部の放射波は、しかるべき抑制措置をとらないと、そばにあるラジオばかりでなく、近隣への電波干渉も引き起こす。コンピュータが発するこの無線のような信号は、無線周波数干渉(RFI)と呼ばれるものを生成する。これは電磁波スペクトルにあるほかの信号を干渉するためにこのように呼ばれている。

FCC規格

コンピュータから、"2 live Crew"や"George Carlin"が話す、電波には乗せられないような7つの単語が発せられるわけではなくても、連邦通信委員会(FCC)は、コンピュータから放送されることに耳をそばだてている。政府はパーソナルコンピュータが放つ電波に厳格な規制を設けているが、この規制はあまりにも厳しすぎるため、多くのコンピュータメーカーはそれを守ることができない。その結果、何千台ものパーソナルコンピュータが毎年不法に販売されており、あなたが次に購入するマシンがその1つである可能性は大いにありうる。

誰も、パーソナルコンピュータを無線送信機だとは思っていないかもしれないが、実はそうなのだ。すべての電気機器と同様に、コンピュータも電磁波を放射しているのである。パーソナルコンピュータの動作によって、ラジオやテレビが傍受できる範囲の周波数の電磁波が発生する。もちろん、この無線放射は意図的なものではない。パーソナルコンピュータ内部のきわめて小さな論理信号を含んだ移動する電子の流れが電磁波を生み出している。電流が流れ出したり、停止したり、方向転換すると電磁波が発生し、これによって空間にラジオ波が放射されるのである(安定した電流は静電界を作り出す)。このような信号の意図的でない特性は、FCCにとっては問題ない。放送に入り込むものは、ほとんどすべて委員会の管轄範囲になっている。事実、取り締まりの対象となる信号は、音波の場合は聞くことのできる9,000Hzの周波数で始まり、光波として見ることができる300GHzの周波数にまで至るのである。

委員会はコンピュータから放射される信号と同種のものに適用する規則および規制を管轄する組織を作った。この組織の会議によって規則が強化されたりする。実際、この組織の力によって、どのコンピュータがいつ売れるか、また、どのコンピュータが価格的に市場性のない製品として設計者を悩ますのかといったことが左右されることがある。アメリカで販売されているほとんどの周辺装置は、この規則や規制に準拠しなければならない。

それにもかかわらず、この規則が管理している

内容、達成しようとしている事柄、なぜ誰もがこれに配慮しなければならないのかという理由について知っている人は(多くのコンピュータメーカーや主変機器メーカーを含めて)ほとんどいない。FCCの権限を無視して、多くのコンピュータメーカーがこの規則に準拠していないマシンを販売している。このようなコンピュータを販売することは、アメリカにおいては非合法な行為である。

FCC規則に配慮し、これに従っているコンピュータ設計者にとって、規則に準拠することはくぐり抜けるべき最後の輪であり、その労作が販売店の棚に落ち着く前の最終試験である。同時に、この規則に準拠していることの証明を受けることは、購入者にも影響を与える。証明が必要なために、新技術を採用したコンピュータや周辺装置を購入者が手にするのがその分遅くなるのである。コンピュータ製品は証明を受ける前に販売の準備が整っていなければならないが、証明には6～8週間かかるため、自動的に最新の製品が実際に市場に出るまでには、1ヶ月半以上の遅れが生じるわけだ。

一方、これに対し、証明の利点はわずかのように思われる。たとえば、FCCの証明はコンピュータ製品が安全であることを保証するものであはない。安全性については、FCCの関知するところではないのだ。FCCの規格を満たしている製品でも、人体に有害な信号を放射したり、得体の知れない毒物によって、オフィスを汚染する可能性もあるわけだ。また、FCC規制は、そのコンピュータ製品が、ラジオやテレビの受信を絶対妨害しないということを保証しているわけでもない(このため、きちんと保証されている機器のマニュアルには、コンピュータが引き起こす干渉を取り除くための方法が記載されている)。FCCの証明が示しているのは、特定の製品が放送サービス――たとえば、テレビや無線(セルラーホン、緊急ラジオサービス、航空機が使用する航空無線機器を含む)――に干渉する一定のレベルを超えないということだけである。この証明はたいしたものではないように思われるが、このレベルをクリアすることは、コンピュータメーカー側にとってはしばしば大きな頭痛の種であり、コンピュータユーザーおよびその近隣の人は、感謝すべき意味のあることなのである。

干渉は、FCC存在の根本にある最も重要な根拠のひとつだった。委員会は1934年に組織されたが、そもそもは、1920年代に初期の放送会社たちが起こした混乱を整理するのが目的だった。彼らは好き勝手な時間、場所、方法で信号を送信していたため、いくつかの場所でひどい混線が発生し、ラジオが放送局の番組をうまく区別して受信できないような状態になった。FCCはこの混乱に秩序をもたらすために組織され、無線局間の干渉を防止する厳格な規定を作成したのである。無線を使用するサービスが増えるにつれ、FCCはそうしたサービスに対しても、信号が互いに干渉しあうことを防ぐための規則を制定した。これは、聞けることを制限するということではなく、そこに届いているものがはっきりと聞こえることを保証するためのものである。最初FCCは、放送を意図した信号にのみ関与していたが、高周波数で動作するコンピュータ機器の出現により、関与すべき無線干渉の新しい源が生まれた。コンピュータのクロック周波数は、今や通信周波数の中間点に位置し、テレビやFMの周波数帯域へ接近しつつある(2、3の古いコンピュータは、AM周波数帯域の周波数で動作するが、IBM標準のパーソナルコンピュータは、それほど下がらない)。

潜在的なラジオやテレビの干渉については、それほど気にしなくてもよいように思われる。ネットワークテレビの番組の質と比べれば、干渉は改善されたものといえるだろう。しかし、FCCがコンピュータの放射を自らの監督下に置いて規制を作り出したときに、情況はより深刻になった。当時(1970年代後半)、すでにコンピュータなどの機器の放射は生命を脅かすほどの問題ではないとしても、少なくとも危険性はあると証明されつつあった。たとえば、FCCによると、西海岸のいくつかの州の警察は、自分達の無線通信が、コンピュータ回路をベースにしていた、コインで遊ぶビデオゲーム機から妨害を受けていることを報告している。また、東海岸の空港で航空通信妨害の発信源をたどったところ、1マイル離れたところにあるドラッグストアの、コンピュータに類似した電子キャッシュレジスターだったということもあった。

マニア用のコンピュータや携帯型の電卓は、すでに市場で流通しており、これらは擬似無線信号を発生することが知られていた。また、Radio Shackのの「TRS−80」は、テレビの受信障害を発生することで有名だった。要するに、当時、たとえ1980年代のパーソナルコンピュータブームが予想できなかったとしても、高周波のデジタル論理回路の利用が増えることで、情況が悪くなることは確実だったのである。

パーソナルコンピュータの放射を規制する最初の試みの中で、FCCにおいてある特別な規則が検討され、1979年10月に発布された。これがあまり知られてはいないが、「パート15サブパートJ」というもので、1989年までに発売された数百万台にのぼるパーソナルコンピュータには、その認定ステッカーが貼られている。「FCCパート15」は、1989年3月には書き換えられて「サブパートB」ができ、コンピュータに加えて同様の干渉を発生するほかの周辺機器も一緒に扱われるようになった。この新しい規定は、不注意に無線信号を発するすべての電子機器、FCCが〝非意図的放射体〟と呼ぶ機器に適用される。これに対し、通信などの目的で無線信号を意図的に発する装置があり、テレビ局からガレージのドア用のリモコンに至るまで、すべての〝意図的放射体〟も当然FCCの管理下に置かれている。

10.5　規制範囲

新しいFCC規則は、パーソナルコンピュータに加えて、メインフレームからポケット計算機まで、大小を問わずすべてのコンピュータシステムを網羅している。さらに、これにパーソナルコンピュータの周辺機器も含まれる。実際、ほとんどの周辺機器はコンピュータシステムと同じ認定手続きをパスしなければならない。FCC規則の中で、認定が必要な周辺機器と必要でないものが明確に定義されている。

FCCによれば、周辺機器にはパーソナルコンピュータの機能を向上させるために使用される内部装置、外部装置の両方が含まれる。外部装置の場合、コンピュータと一緒に販売されるのでなければ、それ自身の認定が必要で、コンピュータと一緒に販売される場合は、認定もコンピュータと一緒に受けなければならない。内部装置の場合は、コンピュータの速度と性能に作用しないもの、および外部ケーブルに接続しないものに限り、認定の必要はない。たとえば、シリアル通信ボードやグラフィックボードの場合は、外部装置と接続するので認定が必要ということになる。アップグレードボードであるターボボードはコンピュータのスピードと放射を潜在的に増加させうるので、これも認定が必要だろう。一方、メモリ専用の拡張ボードやハードディスクコントローラには認定は必要ないわけだ。

通常、工場でのコンピュータの製造時にしか使用されないコンピュータ部品は、「仕掛品」のようなものと見なされ、認定は必要ない。この仕掛品が組み立てられて、一般に販売されるパーソナルコンピュータになったときに、全体として認定を受けるのである。

ケース、マザーボード、電源は特に仕掛品と見なされるもので、FCCの認定は必要ないし、実際認定を受けることもできない。コンピュータマザーボードは、そのままでは認定の必要はないが、電源と共にケースにインストールされると、全体として認定を受けなければならなくなる。IBMを始めとするいくつかの組織は、マザーボード単体で認定を受けられるよう働きかけをしているが、本書を書いている現時点ではその努力は報われていない。

FCC認定の確認に必要なテスト機材は、平均的なコンピュータマニアには手の届かないものであり、また、マニアたちが丹精込めて作り上げたコンピュータの影響は、もしあったとしてごくわずか

なものであることを、FCC 規則は認識しており、このため、自家製のパーソナルコンピュータについては、認定について特例を認めている。この特例が適用されるのは、家庭で組み立てられたパーソナルコンピュータの中で、次の 3 つの条件を満たすものである。ひとつに、商品として販売されないこと、それから、キットを組み立てたものでないこと、そして、完全に個人使用のもので、製造台数が 5 台以下であるということだ。これに対し、市販のコンピュータキットは FCC 認定の対象である。

市販のパーソナルコンピュータ機器の中にも、FCC 認定の対象から特別に除外されているものがある。低電力装置になると干渉を放射する可能性が低くなるため、高周波数回路の消費電力が 6 ナノ W(1 ナノ W=10 億万分の 1W) 以下の装置は、認定対象から除外されているのである。現在のマイクロプロセッサはすべて、これよりはるかに電力を消費する。たとえば、50MHz の 486 マイクロプロセッサは約 9W で、これは消費電力量の最低条件の約 10 億万倍である。

また、極めて低い周波数で動作する装置は、認定を要する FCC 規則に準拠しなくてもよい。9KHz 以下の周波数で動作する装置は、FCC ではデジタル装置の範囲から除外されているため、低速なシステムは心配には及ばない。有効な制限範囲は実際にはもっと高く、AC 電源を使用しない 1.705MHz 以下の速度で動作する装置もこれに除外対象に含まれる。

マウスやジョイスティックは明らかに認定対象外である。これらには高周波数回路もなければ、高周波信号も使用していない。ただし、内部に自分のマイクロプロセッサを持つマウスは認定が必要である。

10.6 FCCクラス

現在では、ほとんどの人が、FCC ではデジタル装置を「A」と「B」の 2 つのクラスにわけていることを知っている。クラス A とクラス B とでは、放射の許容範囲とテスト内容がまったく異なる。この分類は機器が使用される場所を基にして行われる。クラス A のデジタル装置は、ビジネス、商業、工業用アプリケーションにのみ適したもので、クラス B は家庭で使用されるデジタル装置に適用される。

FCC 規則は、パーソナルコンピュータをすべてクラス B に定義している。また、FCC では**パーソナルコンピュータ**という用語について、今あなたが手を置いているものもその範疇に含まれると考えられる定義も行っている。数年前には**ホーム**コンピュータに分類された装置、たとえば「Commodore 64」などは、現在パーソナルコンピュータの部類に含められている。これは、FCC がテレビ受信機をディスプレイ装置として使用するコンピュータは、すべてパーソナルコンピュータであるとしたからである。しかし、パーソナルコンピュータの定義はこれだけではない。おそらく、今あなたの机に乗っているだろうパーソナルコンピュータのように、専用のディスプレイシステムを持ったコンピュータは、次の 3 つの特性を持っている場合は、パーソナルコンピュータとして FCC 認定の対象となる。

1. 小売り店もしくはダイレクトメール販売会社で販売されたもの
2. その装置の宣伝広告が、商用ユーザーに限定せず一般大衆に向けて行われている
3. 120V の AC 電力で動作する

特定のコンピュータが、実際どのように販売されたかは問題ではない。特定のモデルが小売り店もしくはダイレクトメール販売会社を通して販売されたことがある限り、第一の条件を満たしたことになる。

メインフレームやミニコンピュータのほとんど

は、工業用の230Vの電力を使用しており、クラスAの装置の範疇に含まれる。しかし、FCC規則によれば、このクラスに分類される最も重要な特性は、個人が家庭では使用できないような性質もしくは価格を有しているという点である。この点では、FCCはメーカーに逃げ道を与えている。つまり、この要件を利用して、メーカーや輸入業者は、特定のパーソナルコンピュータに、住宅での使用やマニアの用途には向かないという性質(つまり、価格もしくは性能が高い)があるという条件を付けて、クラスAの装置として扱ってもらうようにFCCに申請することができるのである。

実際、家庭で使用するコンピュータとしては適さない価格もしくは性能の明確な基準をどこに置くかは、FCC規則では定められていない。FCCで使用している一般的な(絶対的ではない)ガイドラインは、基本小売価格が5,000ドル以上のコンピュータは、ビジネスユースに使用される傾向にあるということである。486以上の高性能マイクロプロセッサをベースにした現在のコンピュータは、クラスAの装置としてFCCが認定しそうなほどの高性能を有している場合がある。パーソナルコンピュータの高まる性能、価格の低下、ホームユーザーの急増に伴い、こうしたガイドラインも変わってゆくだろう。

ただし、メーカーは、ある特定のコンピュータがクラスAの装置であるとただ単に主張することはできない。FCCにそのクラスの装置として申請しなければならないし、それを証拠立てる根拠もあったほうがいい。FCCは文書による通知でクラスを確認する。

携帯用パソコンはすべて、クラスBの装置と見なされる。これは、まさにその携帯性が住居空間で使用するのに適しているからである。たとえば石油調査のための地質学的測定に使用される機器など、クラスAに属する携帯用コンピュータというのも理論的には考えられるが、汎用の携帯用パソコンは、クラスAの装置としては認められていない。携帯用パソコンとしては、最小のパームトップタイプのものから旧式の重いランチボックスタイプのものまで、クラスAの装置として販売される携帯用パソコンはすべてFCC規則に違反しているわけである。法的には、アメリカでこのようなコンピュータを販売することはできない。

このように、自社の製品をクラスAの装置として扱ってもらうことを望むメーカーにはそれなりの理由がある。クラスAの装置は、放射の許容要件が緩やかであるというだけでなく、時間のかかるFCC認定の手続きが必要ないからである。クラスAの装置は、代わりにその製造元がFCC規則に準拠していることを証明するだけでよい。つまり、クラスBの装置の場合、FCCもしくは特定の試験所において行われるテストをパスすることによってFCCから認定を受けるのに対し、クラスAの装置は、FCC規則に準拠しているかどうかをメーカー自身がテストして証明するのである。後者の手続きのほうが文句なく早い。また、規則をある程度都合のいいように解釈する余地も残される。したがってたとえば、メーカーは販売戦略の圧力に負けて、実際に認定する前に証明済みとしてしまうこともありうる。しかしながら、FCCはクラスA認定製品について再チェックを行うことができ、本当に基準に適合していなければ、販売を差し止めることができる。また、そのような虚偽の主張を行ったメーカーを罰することもできる。

放射制限

クラスAの装置とクラスBの装置を分ける境界線の正当性は漠然としていて、テストの手続きの形式の違いも意味がないように思われるかもしれないが、両クラスには正当な根拠がある。

まず、クラスBの装置に対する放射制限は、根拠もなく勝手気ままに設けられたものではない。FCCの放射制限には、コンピュータとテレビやラジオを隔てている壁が1枚以上あり、さらに、両者が30フィート以上離れている場合に、ラジオやテレビの受信障害を発生しないと思われる程度の低さの値が設定されている。30フィートと壁1枚という環境は、一般住居地を表わすものとしては(少なくともFCCにとっては)妥当である。要するにこの基準は、クラスBの装置が干渉を発生しても、それが発生源のコンピュータがある住居内だけに留まるように、設定されているのである。近隣は心配する必要はないのである。

一方、クラスAの装置は、この10倍以上離れているところにある装置に干渉を発生しなければよしとされる。このように干渉の許容範囲が高く設けられているのは、基本的にほとんどの住居地域は工場や商業用ビルから30フィート以上離れたところにあるという前提に基づいているからである。離れた場所にあることを前提としたクラスAの装置は、放射が多くても、近隣のテレビやラジオの受信障害を引き起こすことはないわけである。しかし、住居地域に置かれていれば当然その可能性は出てくる。

FCC規則の放射制限は2種類の放射が対象となっている。電源コードのワイヤを通して伝わる伝導性放射と、コンピュータから空間に放出される無線信号である。放射の最大強度は周波数によって変わる。

クラスAの装置とクラスBの装置に対するテストの取り決めの違いや、メーカーによるFCC適合証明とFCCによる認定という違いには、この規則が関与する2つの種類のコンピュータ装置においてFCCが思い描いたいくつかの現実が反映している。クラスBの製品は、数千台から数百万台といった単位の量産品であり、FCCにサンプルを送ることに問題はない(認定作業で強いられる遅れを別にすれば)。一方、クラスAの装置は、たとえば環境制御されたコンピュータルームに、顧客の仕様に合わせて設置されるメインフレームなど、特殊なものであることが多い。この場合、メインフレームのような装置をFCCの試験所に送るのは、どう考えても現実的ではない。さらに、クラスAの機器に比べてクラスBの機器のほうは一般大衆に使用されるものである点から、より一般的な装置のほうに干渉に対してより高い保証が求められるのであると思われる。

FCC規則では、ビジネス用や工業用機器は、FCCへ送ってクラスBの装置として認定してもらうことができ、また、クラスBの装置はオフィスで使用することができるとしている。しかし、その逆は真ではない。クラスAの機器は住居地域で使用してはならないのである。

FCC規則の強制

法律でクラスAの装置を住居で使用してはならないと定めているわけではない。また、使用したとしても、無線警察がドアを破って踏み込んでくるということはない。FCC規則では、誰も気付かなければ、住居でクラスAの装置を使用しても明らかに罰せられない。とはいえ、もし自分のコンピュータが他人のラジオやテレビの受信障害を引き起こしているとしたら、そのコンピュータがクラスAのものであろうとクラスBのものであろうと、干渉を取り除く責任がある。FCCは、それを行わない人に対して、干渉を解決するまでコンピュータの使用を中止するように指示することができる。この指示に従わなければ、罰金を課されたり、拘禁されることもありうる。このような脅威だけで、クラスAの装置を住居で使用することを思いとどまらせるのに十分だろう。

政策というものはいくぶん独裁者的な性質も持つようで、FCCもまた、必要な時には個人のパーソナルコンピュータを調査することを要求する権限を持っている。FCC規則では、クラスAまたはクラスBの装置(またはFCC規則の対象となる機器)の所有者は、装置とそれに付いている認定とを、要求に応じて妥当なときに(一般に平日の午前9時から午後5時)、調査のために提示しなければならないとしている。また、FCCの代理人に対しては、パーソナルコンピュータの動作に関して要求される情報を、〝速やかに提出〟しなければならない。

しかし、大きなバンがパラボラアンテナをあなたの家の方に向けてゆっくりとやって来るのを、窓から用心深く見張る必要はない。そういうバンは、安っぽいスパイ小説や映画にしか出てこない。実際は、FCCはアンテナなど付いていないごく普通の外観の車を使っている。さらにFCCは、住居で使用されているクラスAの装置を探すために、不定期に外に出かけて行くことはない。干渉探知機は要請に応じて動きだす。したがって、FCCがドアをノックするより先に、近所の人が何か言い始めたのを耳にするはずだ。

それよりもFCCは、近隣の人の見ているテレビに波線を生じさせるような干渉発生源となる装置

が一般に売られて、誰かがこれを購入してしまうかもしれないことのほうに注意を払っており、最終的な手段として、そのような装置の販売を禁止したりしているのである。

FCCが認定していないクラスBのパーソナルコンピュータは、法的には販売用に広告することはできない。ただし、認定を受けていない（したがって販売されていない）ということを注記した上であれば広告は許されている。クラスAの装置として承認されてもいなければ、クラスBに準拠しているとも認定されていないコンピュータを市場に出した企業は、その装置の販売を差し止められ、罰金が課される。この規則を無視し続けると、その企業の役員は投獄されることもありうる。FCCによれば、ほとんどの企業が指示には即座に従っているということだ。

クラスBの装置は、適切な否認証明を添付すれば、認定を受ける前でもショーで展示してデモンストレーションを行うことができる。基本的な禁止事項は、認定を受けない装置の販売である。たとえば、デモンストレーション用のユニットは配布できても、コンピュータのディーラーに展示用に売ることはできないのである。

証明と認定

認定の手続きでは、FCCまたは特定の試験所でテストを受けること、およびメリーランドかコロンビアのFCC研究所に、パーソナルコンピュータや周辺機器のサンプルを送付することが要求される。FCCは送付された機器をテストして、放射がクラスBの装置に指定された範囲内であるかどうかを判断する。テストをパスした装置に対しては、FCCが認定を与えて英数字による認定番号を発行する（メーカーが自分で好きな番号を選ぶこともよくある）。

ケース、電源、マザーボードのいずれかが異なれば、各モデルについて個別に認定を受けなければならない。たとえば、デスクトップタイプと床に設置するタイプの2つのケースに対し、それぞれ386SX、386DX、486DXの3種類のシステムボードを提供している場合は、合計6種類の構成のひとつひとつについて認定を受けなければならないのである。

同一メーカーが製造した同一製品は、ラベルや色など装飾的な部分にしか違いがないのであれば、ベンダーが異なっても認定番号を共有してよい。かつては、そういうコンピュータは異なる商標で個別に届け出が必要だったが、新しい（1989年）規則ではこの要件は緩和されている。前述のとおり、ケース、プロセッサ、電源が異なれば、同じメーカーの製造した製品でも、FCCの認定番号を共有することはできない。

パーソナルコンピュータに認定を受けている周辺装置を新たに追加する場合、もとのモデルとその部分しか違いがなければ、再認定を受ける必要はない。したがって、たとえばメーカーが、FCC認定のシリアルボードをインストールして別のモデルを作った場合、その新しいモデルには前のモデルの認定が適用できるわけだ。

小規模のコンピュータメーカーは、自社の製品はFCC認定済みの部品のみを使って組み立てられているのだから、FCC認定は必要ないのではないかと主張することがあるが、これは不可能であることは簡単にわかる。パーソナルコンピュータは、電源、ケース、マザーボードなしでは成立しないが、これらの構成部品は、それだけではFCC認定を受けることはできないのである。部品から組み立てられるコンピュータはいずれもユニット全体としてFCCの認定を受けなければならないのである。

これらの規則はみな、コンピュータメーカーに対してしかFCC認定を重要なものにしていないように思われるが、結局は、クラスAでもクラスBでも自分のコンピュータが発生する干渉を取り除く責任は自分にあることには変わりないことを考えると、FCC認定はユーザーにとっても重要だといえよう。

機器設計

クラスBの認定を受けるためには、よりよい設計と完成品が必要である。認定ステッカーは、特定の製品の出来が優れていることを何ら保証するものではないが、認定ステッカーのあるパーソナルコンピュータや周辺装置は、それがない機器と

は異なり、重要な技術基準を確実に満たしていることは示している。パーソナルコンピュータを購入する際に、FCC 認定に完全に頼りきってはいけないが、自分が購入しようと考えている装置の品質に関するひとつのよりところにはなる。

メーカーは放射を抑えるために、多種多様な方策を用いている。コンピュータのスピードが増すにつれて、メーカーはますます大変になる。

PC、XT、AT、互換機の重い鋼鉄製のケースは、RFI を防止するものとしては妥当である。プラスチックケースの場合は、放射を最小限に抑えるために特殊な処理を要する。処理方法のひとつは、伝導性塗料の使用である。多くは銀が豊富に含まれているもので、ほかのコンピュータのフルメタルジャケットとほとんど変わらずに、コンピュータをシールドしてくれる。

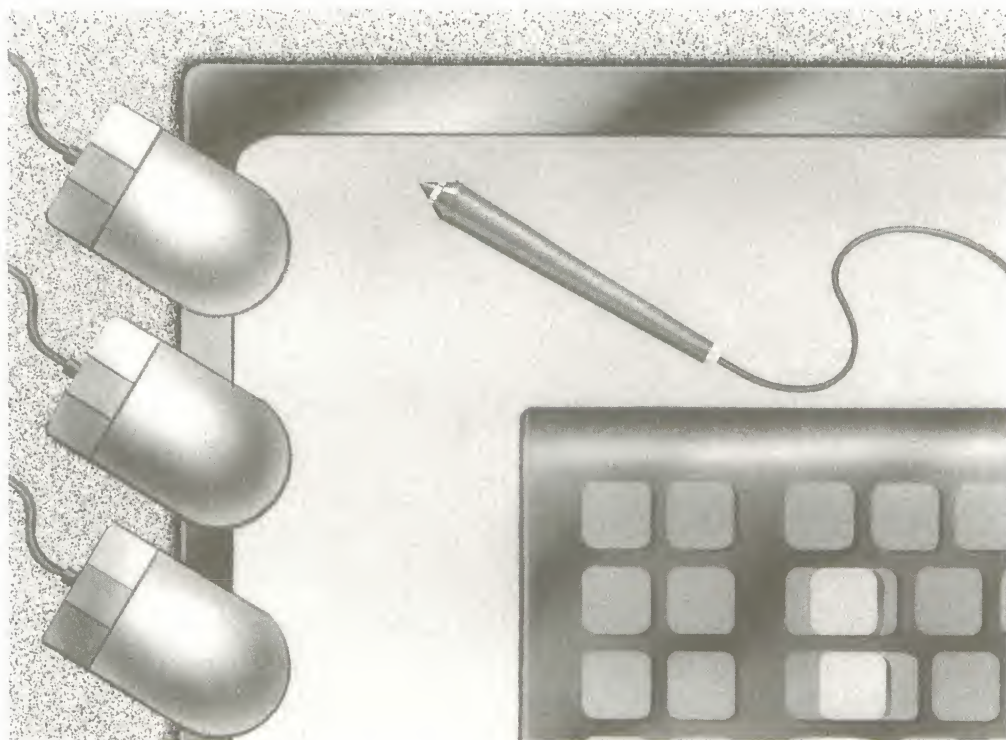
パーソナルコンピュータの動作周波数が増加するに従い、擬似放射は有害になっていく。ケースに隙間があると、そこから過度に無線エネルギーが漏れてしまう可能性がある。シャシーの各パーツやケースの蓋が電気的につながっていない場合、RFI が漏れることがある。さらに、コンピュータに接続されているケーブルは潜在的にアンテナの働きをするため、ラジオ局の同程度の効果を持つ信号を送信してしまうことがある。

これに対し、設計において様々な点に配慮することによって、RFI を減少させることができる。たとえば、ケースの端に特殊な金属性の突起を付ければ、2 つのパーツを確実に電気的につなげることができる。ケーブルはシールドする。RFI 吸収フェライト（酸化鉄）ビーズをワイヤがシャシーから出る前に巻いておけば、過剰なエネルギーが漏れる前にそれを吸収させることができる。ただし、このような処置のひとつひとつは、材料費および製造コストの両面でコンピュータのコストを若干増加させる。さらに、漏出箇所すべてを見つけてそれらをふさぐには、かなりの時間がかかる。

干渉もまた、その源で最小限に抑えることができる。たとえば、IBM は、無線周波数放射については徹底的に低くなるように PS／2 を設計した。PS／2 のシステムボードとマイクロチャネルは、擬似放射が最小限になる方法で設計されている。プレーナーボードの外層は、主にグランド層で構成されている。グランド層によって、回路ボードの内部層の高周波信号がシールドされるのである。グランド線は、バスを部分的にシールドするために、マイクロチャネルバス上のアクティブコンダクタで置き換えられる。

基本的に、クラス B の装置は、クラス A のコンピュータより干渉の発生が少なくなるように設計されなければならない。これの意味するところは、テレビの受信障害で隣近所ともめるような事態を生じないようにするということだけではなく、クラス B のコンピュータは、細部にまで配慮が必要な構造を持っているということである。加えて、無線周波数の放射を低く抑えることは、概して、より低い周波数の放射を抑えることにも結び付く。これで、低周波数放射の人体への影響について心配している人も、安心することができる。

第11章

入力装置

入力装置はパーソナルコンピュータに情報を伝える道具であり、ユーザーがパーソナルコンピュータとやり取りするための基本的な手段である。この道具として使用される様々な装置には、電気的接触を利用したものから音声によるものまで、今日のあらゆるテクノロジーが利用されている。これらの装置は、それぞれ異なった方法で動作するが、果たす役割は等しく、人とコンピュータのコミュニケーションを可能にするものである。

11.1 キーボード

ほとんどのコンピュータシステムでは、基本的な入力装置はキーボードであり、音声認識システムが、連続した言葉を認識できるレベルに完成されるまでは、キーボードが主要な入力装置であることは変わらないと思われる。したがって、キーボードの使用に際して困ることのないように、動作の仕組みを理解しておくのも意味のあることだろう。

IBMは、様々なパーソナルコンピュータに合わせて、これまでに十数種類のキーボードを発売している。この中の4つは、実際には主流の製品ではない。そのうちの2つは「PCjr」専用に設計されたキーボード、もう1つは短命だった「Portable PC」用のもので、残りの1つは「3270PC」用に特別に設計されたものだった。これら以外のキーボードは、キー配列を変えたり、便利な機能を搭載して改良されていった。またその中には、机上の省スペース化や、IBMによって再度着手されることとなったポータブルタイプのコンピュータに合せて、小型化されたものもある。

PC/XTキーボード

最初のPCと共に発表された、オリジナルのPC/XTキーボードから、すでに不満は起こっていた(図11-1参照)。この設計は、合計83個のキーで構成されており、強烈な批判(おもに出版界から)にもかかわらず、ATが発売されるまでの間、IBMの標準として続いていた。この設計では、メインとなる文字と数字キーのエリアの左に、縦2列にファンクションキーが配置されており、カーソルキーと、数値を直接入力するために電卓スタイルに並んだ数字キーは、同じキーを共有しなければならなかった。Enterキーは小さく、そのキートップの折れた矢印のマークは分かりにくく、また、Caps Lock、Num Lock、Scroll Lockの3つの切り換えをロックするキーには、インジケータがついていなかった。

このオリジナルの設計に対する不満は、おもに周辺のキーのレイアウトに関するものだった。大抵のプログラムでは、画面の下1列にファンクションキーの割り当てが表示されるが、これと左側のファンクションキーの並び方が対応していないのである。また、インジケータがないために、カーソル移動と数字入力や、大文字と小文字のタイプミスが頻繁に起こった。表計算プログラムでは、キーを共有しない独立した数字キーとカーソルキーが必要だった。さらに、Enterキーも小さすぎた。

図11-1 IBM PC/XTキーボードのレイアウト

ATキーボード

出版界でこうした不満が伝えられた数年後、IBMはこれらの点に留意しながらATと共に新たな配列のキーボードを発売した。これには新しいキーも追加されている(主としてマルチユーザーアプリケーションの用途に設計されたSys Rqキー)。Enterキーは大きくなり、ほかのキーと見分けがつくようになった。切り換えのロックキーにはインジケータがつけられた(図11-2参照)。

しかし両者の違いは実際はもっと深いところにある。PCキーボードとは異なり、ATキーボードはプログラム可能に作られていた。自分専用のコマンドセットを持ち、そのコマンドセットはシステムユニットを通してキーボードまで伝えられる。このため、ATキーボードはPCおよびXTシステムとは非互換となった。コネクタは同じでも、PCとXTのキーボードは、ATに接続すると動作しないし、逆にATキーボードをPCまたはXTシステムに接続しても動かない。

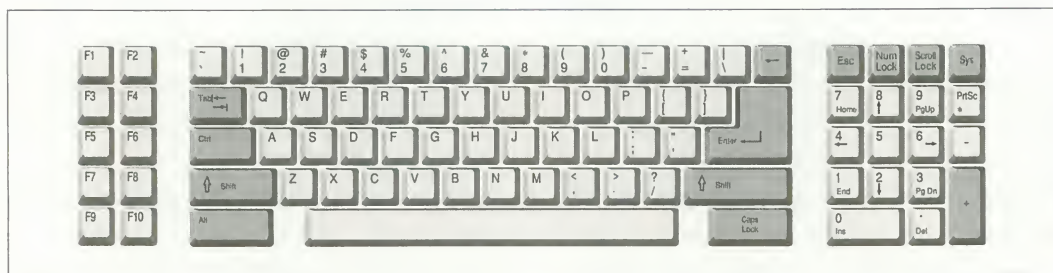



図11-2　IBM ATキーボードのレイアウト

IBMアドバンスドキーボード

アップグレードされたATの市場投入とともに、IBM自身が〝アドバンスドキーボード〟と呼び、一般には〝エンハンスドキーボード〟とも呼ばれる新しいキーボードを発表した。電気的には、オリジナルのATキーボードと同じだが(ATキーボードと交換して接続可能で、PCおよびXTとは非互換のままである)、キー配列は再度変更されている。改良された点は、キーの数が格段に増えたことで、標準のUSモデルでは、合計で101個、インターナショナルモデルではこれよりさらに1個多いキーが装備された(図11-3参照)。

図11-3　IBMエンハンスドキーボードのレイアウト

追加されたキーは様々である。新しいキーとしては、カーソル移動と数字入力の共用キーとは別に、専用のカーソルキーが用意された。また、いくつかのコントロールキーは別の小さなキーにも重複して割り当てられた。新たに2つのファンクションキー(F11、F12)が追加され、全12個のファンクションキーは、数字キーのエリアからわずかに離れたキーボードの最上部に移動した。Ctrl と Alt キーはそれぞれ2つずつに増やされ、スペースバーの両サイドに1組ずつ置かれた。Caps Lock キーは以前は Ctrl キーがあった場所に移動した。

待ちに待って実現した設計の改良点は、キーボード最上部へのファンクションキーの移動である。これは PC の発表以来、コンピュータ関連のライターたちから強く求められていたものだ。これによってようやく、ファンクションキーは画面に表示されるキーラベルの位置と対応するようになった。しかし、かつてのファンクションキー配列に不満を持っていた人々は、この改良のすぐあとには、左側に2列に並んだかつてのファンクションキー配列の方が、ずっと使い勝手がよいことに気が付いた。Alt キーや Ctrl キーと組み合わせてファンクションキーを使用する場合は特にそう感じられた。前は片手でできた操作が今度は両手が必要になったからである。

さらに、新しいファンクションキーの配置は前よりも扱いにくいことがわかった。Enter キーは小さくなったため、速くタイプすると間違いやすくなった。結局のところこのキーボードは、熟練したタイピストよりも、我流でタイピングするユーザー向けに設計されたものだった。おそらく以前の設計に対して最も声高に不満をもらしていたのは、まさにこの我流のユーザーたちだったのだろう。実際、キーがアルファベット順に並んでいないことに不満を持ったのもこの人たちだった。

PS/2キーボード

PS/2 ラインの製品は、一般的に IBM アドバンスドキーボードか、もしくは、元々は小型の「モデル25」用に設計された特別縮小サイズのキーボードを使用している。文字のレイアウトは図11-4に示すとおりである。

PS/2 と XT/AT アドバンスドキーボードとの唯一の違いは、取り外し可能なケーブルのコネクタの種類である。PS/2 のケーブルは、PC/AT/XT キーボードの標準 DIN コネクタのかわりに、縮小 DIN コネクタを使っている。このケーブルは、使用するシステムに合せて適切なケーブルに交換できるように取り外し可能になっている。

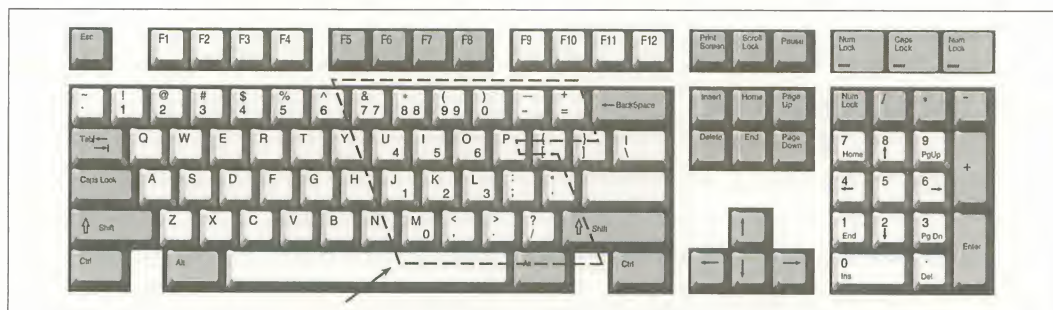



図11-4 IBM コンパンクトキーボードのレイアウト

互換キーボード

互換機メーカーは IBM に懸命に足並みを合わせ、普及している標準に合わせて自社のキーボードも改造していた。その流れの中で、これらのメーカーは先例にならい、アドバンスドキーボード設計の欠点を認識しつつもこれを採用した。メーカーの中には、その会社独自の巧みな改良を加えることによって、IBM の三本立てのキー配列によっ

て生じる混乱を解消したところもあった。これは「Mystery of the Moving Keys.」という解説本が必要なほどの完璧な苦心作で、通常の文字と数字を割り当てられているキー以外は、すべての機能キーを任意のキーへ再割り当てできるというものである。

多くの互換機メーカーが実行した1つの改良は、互換スイッチを設けたことである。このスイッチは、通常はキーボードの底面に設けられており、スイッチには2つのポジションがあって、これによってキーボードの電気的な互換性を、PC／XT互換かAT互換のどちらかに設定することができる。ユーザーがスイッチを適当な位置にセットして、1台のキーボードをPC／XTとATの両方のシステムユニットで使用できるわけだ。

いくつかのキーボードでは、左側のCtrlキーとCaps Lockキーの位置を交換して、Ctrlキーを自分の使いなれた方の位置に置くことができるように、余分にキーキャップがついているものがある。2つのキーを電気的に配置しなおすには、キーボードに付いているスイッチか、ホストコンピュータで走らせるソフトウェアが必要である。現在持っているキーボードにこの機能を追加することはできないが、新たに交換用のキーボードを買うときには探してみる価値はある。

サードパーティーのベンダーから発売された非標準のキーボード設計の中には、ファンクションキーを左側の2列に加えてボード最上列にも装備したものがある。また、カーソルキーと数字キーの分離を試みた設計も数多くあった。

いくつかのメーカーは、キーボードにトラックボールや改造したマウスを組み入れたキーボードを発売している。これらのキーボードには、キーボードの配線とマウスやトラックボールのシリアル回線をひとつにした、特別なケーブルが付いている。このケーブルの端には2つのプラグが付いていて、それぞれのプラグはコンピュータの別々のポートに接続する（前面にキーボードのポート、背面にシリアルポートがあるコンピュータでは、このケーブルの配線に若干の問題があるだろう）。

Northgateは、非互換機であるTandyの「モデル1000」やAT&Tの「モデル6300」でも動作する数種類のキーボードを設計した点で、キーボードメーカーの中では異色の存在である。

ラップトップマシンの中には、机に置いて使用するときは標準のフルサイズのキーボードを接続できるように、外部キーボード用のポートを持ったものがある。新しいタイプのキーボードはこのポートがない場合を考慮して、ほとんどのマシンが装備しているパラレルポートを通してラップトップ本体へ接続しているものがある。

キーボード仕様

キートップの標準的な間隔は、隣り合う2つのキートップの中心点を結んだ長さが0.75インチである。ラップトップマシンの中には、大きさの制約からこの間隔を少し縮めてキーを搭載しようとしたものもあったが、手の大きい人ならいずれはフルサイズのキーボードが欲しくなるだろう。

標準的なキートラベル（キー入力を認識させるためのキートップの押し下げ量）は、普通のデスクトップモデルで3.5～4.5mmである。これがラップトップやノートパソコンや若干の標準ボードになると、2.5～3.8mm（0.14～0.18インチ）に縮まる。また、ほとんどのキーボードでは、キーが接触するまで押し下げるのに54～70g（1.9～2.5オンス）の押圧が必要である。

キーボードのテクノロジー

すべてのキーボードは、たとえキー配列は違っても、キーが指で押されたのを検出し、この情報をコンピュータに中継して伝えるという共通の機能を持っている。しかし、同じよう見える2つのキーボードでも、キー入力の検出方法が大きく異なっている場合がある。このキー入力の検出に使用されるテクノロジー（キーボードの動作の電気的な仕組み）は、キーボードの強度や耐久性に影響を及ぼすこともある。

キーボードには、特殊なもの（たとえばホール効果を応用したスイッチなど）から一般的なのもの（入切のみを行うスイッチ）まで、様々なテクノロジーが利用されてきた。その中で最も一般的なのが、**キャパシティブキーボード**（静電容量検出方式）と**ハードコンタクトキーボード**（接触方式）で

ある。

■ キャパシティブキーボード

IBMの主流のキーボードはすべて、また主流ではないがPortable PCや3270PCのキーボードも同様に、ある共通のメカニズムを共有している点で、1つのタイプに分類できる。これらはすべて、キャパシティブキーボードテクノロジーを使用して動作するものである。

一般的にキャパシティブキーボードは、回路がエッチングした基板で構成されている。それぞれの**スイッチステーション**（キーボード用語では各キーは**ステーション**と呼ばれる）の下には、すずとニッケルでめっきされた銅の大きなパッドが2つある。2つのパッドは物理的にも電気的にも接触していない。

キーを押すとキープランジャーの真下にあるこの2つのパッドを分離している金属化されたプラスチックの輪に圧力がかかる。この輪はプラスチックの裏板があるので、パッドの間は接触して、電気が流れないようになっているが、2つのパッドはもともと接近しているため静電容量の減少という変化が生じる。これによって20～24pF（ピコファラッド）だった静電容量は2～6pFまで減少する。この静電容量の減少は、パッドにつながる回路に微小だが検出可能な程度の電流を発生させる。

IBM設計とは反対の方法を採用しているキャパシティブ互換キーボードもある。キーを押すことによってキャパシティブパッドも一緒に押され、電気容量を増加させるという方法である。この逆の方法でも結果は同じで、キーボードの電子回路が検出可能な範囲の電流が発生する。

IBMのキーボードは、スプリングのメカニズムによって、キーを押したときにその感触が得られ、クリック音を発するようになっている。また、スプリングのメカニズムは、キーが押されたあとに、キーをもとの位置まで押し戻す役目も果たしている。いわゆるソフトタッチキーボードは、スプリングとしてだけでなく、キーストロークの衝撃を弱める目的で、フォームラバー（気泡入りゴム）を使用しているものが多い。

キーボードに搭載されたマイクロプロセッサ（普及タイプのキーボードでは、「8048シリーズ」のデバイスが一般的である）の制御下では、すべてのパッドの電流の変化は数マイクロ秒ごとにスキャンされており、キーストロークによって生じる瞬間的な電流の流れを検出することができる。しかし、無作為に発生するノイズの微小な変化は、キーストロークによって生成される電流パルスによく似たパルスを発生することがあるため、キーボードでは2回以上のスキャンを行って、その間に増加し続ける電流が検出されたらキーが押されたと判断することで、ノイズとキーストロークの区別をしている。2度もスキャンを行うと、速度が低下してしまうように思われるかもしれないが、全体のチェックと確認動作はたいへん速い。普通のキーボードでは1秒間に300文字の速さのキー入力を処理することができる。これは一般的なプログラマや速いタイピストのタイピング速度よりもいくぶん速い。

キーストロークが検出されると、キーボードに組み込まれているマイクロプロセッサは、どのキーが押されたかを示すスキャンコードを生成する。生成されたスキャンコードはシリアルデータに変換されて、コンピュータのシステム本体のマイクロプロセッサへ伝えられる。

■ ハードコンタクトキーボード

キャパシティブキーボードのメカニズムと電子回路は、相対的に複雑で相当高価でもある。これよりコストの安い代替手段が、2種類のPCjrキーボードに使用されているハードコンタクト設計である。

PCjrは、パーソナルコンピュータ市場におけるIBMの大きな誤りの1つで、このコンピュータ自体はほとんど歴史の藻屑と消え去っている。しかし、このマシンには検討する価値のある2、3の特異なテクノロジーが採用されている。PCjrキーボードでは、各キーは個別のスイッチとして働く。キーを押すとスイッチの2つの接点の間にハードコンタクト（電気的接触）が形成される。この接触によって電気が流れ、その電気の流れはマトリックスの配列によって検出されると同時に、どのキーが押されたかも示す。

ハードコンタクト設計に必要な各キーストロークを検出するための回路は、キャパシティブキーボードより簡単だが、マイクロプロセッサがスキャンコードを割り当てて、データをシステムユニットに転送するために、シリアルデータに変換しなければならない点は同じである。

PCjr キーボードの特殊なハードコンタクトの設計は驚くほど簡単である。型に取った導電性のゴム製のシートが土台になっているが、これはキーを静止位置に戻すために必要なスプリングの役目を果たすと同時に、スイッチングに必要な接触点も、このゴムシートによって作られている。ゴムシートには、いくつものドーム型の突起が精密に作られており、この突起は、各キーの中央部を真上から軽く押すような一定の動作で圧力が加えられると、へこむようになっている。

今日の互換機に使用されているキーボードの多くは、ハードコンタクト設計と同様の仕組みを持つものである。これらの利点はコストが安いことだが、根本的な欠点は、キャパシティブキーボードより耐久性が低いことである。よく起こるトラブルとして、1個のキーが劣化して突然動きが固くなり、そのキーだけほかのキーより大きい押し圧が必要になってしまうことがある。このトラブルを解決するには新しいキーボードを買うしかない。

■ キートップ

PCjr の外観を最も損なっているデザインは、恐らくそのキーボードだろう。このコンピュータは、錠剤のような小さなキーを採用しており、このキーは出版界からは嘲笑的な意味を込めて〝チクレット〟と名付けられた（小さくて白いクッションの形をした、砂糖でコーティングされたガム＝チクレットに似ていたからである）。この極端なデザインについて当の IBM は、このキーデザインによって、各キーを表わす印や名前を表示したプラスチックまたは厚紙のテンプレートが使用できる、という長所をいいわけにしていた。しかしながら、この小さいキーのおかげで、PCjr キーボードはタイピングしずらくなり、ビジネスアプリケーションの中で、安価な PCjr が高価なパーソナルコンピュータにとって代わる可能性をすっかり消してしまった。

PCjr キーボードは改善され、無料でアップグレードできるようになっていたが、改訂後のキーボードでも、電気的な仕組みとメカニズムの点では、オリジナルのモデルから変わっていない。唯一の変更点は、キートップのサイズが大きくなったことである。

このキートップは、IBM のほかの全デザインと同じように、くぼんだ円筒形という特徴的な外形をしている。わずかにある非 IBM キーボードも（基本的にはヨーロッパの製品）、キートップには丸い皿のような形のくぼみがついている。両者の唯一の違いは感触だが、普通はどんなキーでも使い慣れたものが一番だ。

■ コードレスキーボード

当時流行した新しい設計を IBM も採用し、PCjr キーボードをワイヤレスで操作できるように設計した。これは、キーボードの背面に付けられた赤外線を発光する 2 つの LED がスキャンコードを光学的に送信し、送られたスキャンコードは PCjr システムユニットのフロントパネルにはめ込まれたフォトディテクタによって受け取られるという仕組みである。

キーボードをワイヤレスモードで使用するときは、電源として 4 本の単 3 乾電池が必要だったため、操作の信頼性を高めるために、IBM は PCjr 用として標準のキーボードケーブルを使用することも提唱していた。PCjr キーボードのケーブルは、キーボード側の先端には電話機式のモジュラコネクタを、システムユニット側の先端にはバーグコネクタを使用していたが、バーグコネクタは入手が困難なため、自分でキーボードケーブルを作るのは現実的には難しい。ただし、用途によって（あるいは机上の配置の都合で）ケーブルの延長を必要とする場合は、IBM ケーブルとキーボードの間に、何本でも標準のモジュラケーブルを継ぎ足すことによって、簡単にケーブルを長くすることができる。

キー配列

■ QWERTY キー

初めてキーに触る人は、一般的なコンピュータのキーボードが、見た目には何の意味もないキー配列になっていることに驚き、戸惑うことだろう。この難解なレイアウトに付けられた名前さえ、ある種の黒魔術や奇妙な神秘宗教の呪文の雰囲気がある。このキーレイアウトは「QWERTY（クウワーティー）」と呼ばれているが、これはアルファベットキーの最上列の最初の6文字を単純に並べたものである。このような不合理なキー配列が生まれた理由は、最初に実用化されたタイプライターのキーボードにまで遡ることになる。

実は、最初のタイプライターのキー配列はアルファベット順だった。しかし、タイプライターの発明者であるChristopher Sholesは、この発明から1年もしないうちに、彼自身がこれよりも優れているとする、新しいキー配列に思い至った。これが現在知られている、そして嫌われている「**QWERTY 配列**」である。

■ 逸話の真実

QWERTY配列には逸話がある。よく耳にする逸話の中ではQWERTYの由来は次のように語られている。つまり、タイピストたちは繁雑な仕事を処理するために、初期のタイプライターの単純なメカニズムを超える速さでキーを打つことができたが、そのタイピングの速さのあまりキーが絡んでタイプライターが壊れてしまうので、この妙なQWERTY配列にしてタイピングの速度を遅くさせ、キーが絡むのを防ごうとした、というものである。

SholesはQWERTY配列をどのようにして思い付いたか記録をまったく残さなかったが、タイピングを遅くしようとしたのではないことは明らかである。なぜなら、それほどに高速なタイピングは、キーボード上に10本の指を動かす現代式のタッチタイピングで実現できるものだが、このタッチタイピング方式は、SholesがQWERTY配列を定着させてから約10年も経ったあとで行われるようになったものだからだ。

QWERTY配列に関するこの逸話は、これ以外の部分でもまた説得力はない。たとえば、タイプバー（用紙に文字を打ち付けるために振り上げられる活字の付いたレバー）が絡まないように、アルファベットの順序に関係なくばらばらにキーに振り分けることは、まったく意味のないことである。なぜなら、タイプバーの配列とキーの配列は、直接的な関係は何もないからだ。

QWERTY配列がアルファベットで唯一可能な配列でないことは明らかである。実際にはアルファベット文字だけで26!通り（26の階乗、正確には403,291,461,126,605,635,584,000,000通り）の異なる配列が存在する。これを、違った長さの列に分けたり、アルファベット以外のキーまで含めると、配列の可能性がさらに多くなることはいうまでもない。QWERTYは唯一可能なレイアウトでもないし、恐らく最適な配列でもないだろう。

■ ドボラーク／ディーレイキーボード

その知名度と採用度ではQWERTY配列にははるかに及ばないが、QWERTYに対抗した配列として最もよく知られているのは、その開発者であるAugust DvorakとWilliam L. Dealeyにちなんで名付けられた「**ドボラーク／ディーレイ式文字配列**」である。この名称は「**ドボラーク**」と短縮されることが多い。

ドボラーク／ディーレイ設計は、より速いタイピングを実現させるいくつかのアイディアを合体させたものである。この設計によって基本的に目指したところは、タイピング時の両手の交互使用を促進することである。つまり、左手の下にあるキーを1文字打った後は、次に打つキーが右手の下にあるようにキーを配列したのである。このように、両手を交互に使用してタイピングすることは、タイピングの高速化に大きな効果がある。手の交替の頻度を高めるために、ドボラーク／ディーレイ配列では、すべての母音字が真ん中の列の左指の下のキーに配置されており、最も頻繁に使用される子音字は同じく真ん中の列の右指の下のキーに置かれている。ドボラーク／ディーレイ配列は、スピード化を目的として開発されたもので、アルファベット順にこだわったキーボードや、習得し

やすいキーボードを作ろうとしたのではないことに注意しなければならない（図 11-5 参照）。

ドボラーク／ディーレイキーボードは、1936 年にこの新しい文字配列の考案者である 2 人によって著わされた「Typewriting Behavior」という本で初めて公開された。ドボラーク／ディーレイ配列の根本原理や理論の長所を証明するために、1930年代には機械式のタイプライターを使ってテストが行われた。このテストはつまるところ、QWERTY 配列とドボラーク／ディーレイ式キー配列のタイピングレースだった。Dvorak と Dealey はテストを実行し、当然のことながら結果は 30%増の速度で彼らのキー配列の勝ちだった。

図 11-5　ドボラーク／ディーレイキーボード（PC 互換機の Key Tronic KB 5150D の搭載例）

Dvorak は、自らが考案したキーボードとこのテスト結果を信じて、そのアイディアを紹介する小論文を書いた。しかしなんということか、彼が論文を書くたびに彼の主張は誇大なものになっていった。1943 年 12 月に National Business Education Quarterly から発行された「There Is a Better Typewriter Keyboard」のようないくつかの論文は、何人かの専門家からは〝完全な誤り〟であると判断されている。米国海軍と General Accounting Ofiice によって行われたテストでは、Dvorak のものよりかなり控え目な結果が報告された。

彼のこうした誇大な主張の一方で、ドボラーク式配列は少なくともこれに熟練すれば、タイピングのスピードアップを促進する可能性を持っていることも事実である。タイピングの効率を増加させるにあたって不利な点は、QWERTY キーボードと比較するとタイピングの難易度が高いことである。

図 11-6　（参考）日本語 106 キーボードのレイアウト

PCの設計では、ドボラーク配列は変更を加えられ、比較的簡単なものになっている。タイプライターが新しいキー配列に合せて新しく設計しなおさなければならないのに対し、パーソナルコンピュータは新しいキーボードを接続するだけでいい。市場向けのドボラークキーボードは特別注文で入手できる場合が多い。

PCは、キーボードからコンピュータに送られる信号を途中で横取りすることによって、PCがドボラーク式のキーボードが付いていると認識するように、簡単にプログラムしなおせるようになっているため、キーを押したときに押したキーと違う文字が画面（およびファイル）に表示されてもかまわなければ、ドボラーク配列を実際に試すことができる。

キーボードの使用

■ スキャンコード

すべてのIBMキーボードの内部マイクロプロセッサは、どのキーが押されたかを認識し、そこから得た情報をスキャンコードに変換する。そうして生成されたスキャンコードは、シリアル形式でホストコンピュータへ送られる。スキャンコードはキーが押されるたびに2つの異なるコードが生成されるようになっている。1つはキーが押されたとき、もう1つはキーが離された瞬間に生成される。この2コード技法によって、コンピュータシステムは、キーが押された瞬間と押され続けている時間を知ることができる。たとえばこれで、Altキーが押されている間にファンクションキーが押されたことも認識できるわけである。

各キーは独自のスキャンコードを生成する。また、たとえば文字／数字両用キーと数字／カーソル両用キーのように、同じマークが付いている2つのキーは、同じスキャンコードを生成する。ある特定のキーのコードは、そのときCaps LockキーやShiftキーが押されているいないにかかわらず同一である（**表11-1**に、IBMキーボードが生成する各キーのスキャンコードを示す）。

表11-1　USキーボードのスキャンコード

キー	メイクコード	ブレークコード
文字・数字キーのエリア（全キーボード共通）		
A	1E	9E
B	30	B0
C	2E	AE
D	20	A0
E	12	92
F	21	A1
G	22	A2
H	23	A3
I	17	97
J	24	A4
K	25	A5
L	26	A6
M	32	B2
N	31	B1
O	18	98
P	19	99
Q	10	90

キー	メイクコード	ブレークコード
R	13	93
S	1F	9F
T	14	94
U	16	96
V	2F	AF
W	11	91
X	2D	AD
Y	15	95
Z	2C	AC
0　)	0B	8B
1　!	02	82
2　@	03	83
3　#	04	84
4　$	05	85
5　%	06	86
6　©	07	87
7　&	08	88
8　*	09	89
9　(	0A	8A
.　TM	29	A9
-　_	0C	8C
=　+	0D	8D
[　§	1A	9A
]　†	1B	9B
¶　®	2B	AB
;　:	27	A7
'　"	28	A8
,　<	33	B3
/　?	35	B5
左 Shift	2A	AA
左 Ctrl	1D	9D
左 Alt	38	B8
右 Shift	36	B6
右 Alt	E0 38	E0 B8
右 Ctrl	E0 1D	E0 9D
Caps Lock	3A	BA
Backspace	0E	8E
Tab	0F	8F
Space bar	39	B9
Enter	1C	9C

キー	メイクコード	ブレークコード
数字／カーソルキー		
Scroll Lock	46	C6
Num Lock	45	C5
*	37	B7
−	4A	CA
+	4E	CE
Enter	E0 1C	E0 9C
1　End	4F	CF
2	50	D0
3　Pg Dn	51	D0
4	4B	CB
5	4C	CC
6	4D	CD
7　Home	47	C7
8	48	C8
9　Pg Up	49	C9
0　Ins	52	D2
Num Lock	E0 35	E0 B5
注：　キーボードがShift状態のとき、Num Lockキーのメイクコードは AA に、ブレークコードは E0 B5 2A に変わる。		
ファンクションキー（F11とF12はアドバンスドキーボードとコンパクトキーボードのみ）		
Esc	01	81
F1	3B	BB
F2	3C	BC
F3	3D	BD
F4	3E	BE
F5	3F	BF
F6	40	C0
F7	41	C1
F8	42	C2
F9	43	C3
F10	44	C4
F11	57	D7
F12	57	D8
専用カーソルのエリアと関連キー（アドバンスドキーボードとコンパクトキーボード）		
上矢印	E0 48	E0 C8
下矢印	E0 50	E0 D0
左矢印	E0 4B	E0 CB
右矢印	E0 4D	E0 CD
Insert	E0 52	E0 D2

キー	メイクコード	ブレークコード
Home	E0 47	E0 C7
Page Up	E0 49	E0 C9
Delete	E0 53	E0 D3
End	E0 4F	E0 CF
注：　キーボードがSHiftまたはNum Lock状態のときは、キーは異なるスキャンコードを送信し、ロックされているShiftの効力は無効になる。つまり、Shift状態のキーでは、スキャンコードの前にE0 AAが送信され、キーが押される前にShiftキーが押された状態や、一時的にShiftが無効化される状態をエミュレートする。ブレークコードの後にはE0 2Aが続き、キーボードをShift状態に戻す。同様に、キーボードがNum Lock状態のときは、これらのキーのメイクコードの前にE0 2Aが送信され、ブレークコードの後にはE0 AAが送信される。		
Page Down	E0 51	E0 D1
Scroll Lock	46	C6
Pause	E1 1D E1 9D C5	なし（メイクコードのみ）
Print Screen	E0 2A E0 37	E0 B7 E0 AA
注：　キーボードがShift状態のときかCtrlキーが押されているときにPrint Screenキーが押されると、E0 37のメイクコードとE0 B7のブレークコードを送信する。Altキーが押されているときは、Print Screenのメイクコードは54になり、ブレークコードはD4になる。PauseキーもまたShiftやCtrl状態では異なって作動し、メイクコードE0 46 E0 C6を送信する。		
エンベデッドカーソルキー（コンパクトキーボードのみ）		
；　：　*	37	B7
－　＿	4A	CA
＝　＋	4E	CE
J　1	4F	CF
K　2	50	D0
L　3	51	D1
U　4	4B	CB
I　5	4C	CC
O　6	4D	CD
7　&	47	C7
8　*	48	C8
9　(	49	C9
0　)	52	D2
注：　Shiftが有効なとき、Scroll Lockキーは45 C5のスキャンコードを送信し、このスキャンコードによってコンパクトキーボードに組み込まれている数値キーは使用可能になる。この状態の間は押されたキーは表に示された値に変わる。		

　コンピュータは、特定のI/Oポートでこれらのスキャンコードを受け取る。スキャンコードがコンピュータに受け取られると、キーボードコントローラは割り込みを発行することによって、マイクロプロセッサに読むべきスキャンコードがあることを通知する。この状態が発生すると、コンピュータはスキャンコードを分類して、どのキーがどのような組み合わせで押されたかを判断する。これを行うためのプログラムコードは、システムBIOSの中にある。コンピュータは、ステータスバイトと呼ばれる特別なメモリロケーションを変えることによって、Shiftキーがロックされている

状態を記憶する。ステータスバイトは変化があるたびにその状態を反映する。

通常は、ユーザーがスキャンコードを扱う必要はない。コンピュータはユーザーからは見えない形で、数字や文字への変換を自動的に行っている。変換された情報は、モニタ画面に表示される情報を生成する際に使用される。生成されたこの情報は、あなたが実行するアプリケーションでも使用できるし、さらにあなたが書いたプログラムでも使用できる。ただし、あなたが独自のプログラムを書く場合に、そのプログラムで各キーの変化を検出することが有益な場合がある。たとえば、あるキーの組み合わせが押されたときに、何かの事象が起こるようにしたい場合は、プログラムはキーボードの入力ポートを読んで、スキャンコードのリストと比較するだけでよいのである。

■ キーボードのケーブル接続

スキャンコードはキーボードからコンピュータへシリアル形式で送信されるので、キーボードデータという情報を転送する際には配線は 1 本しか必要ない。2 本目の配線はデータ信号が戻る経路である。つまり、この配線はグランドとしてキーボードケーブルのほかの全回路の共通のリターンという役目を果たすのである。3 本目の配線は、キーボードのロジックをコンピュータのロジックと同期させるために、キーボードクロック信号の経路に使用される。4 本目の配線は回路駆動に必要な 5V の直流電源をキーボードに供給する配線である。以上の 4 本の配線が、コンピュータとキーボードを連結するのに必要なすべてである。

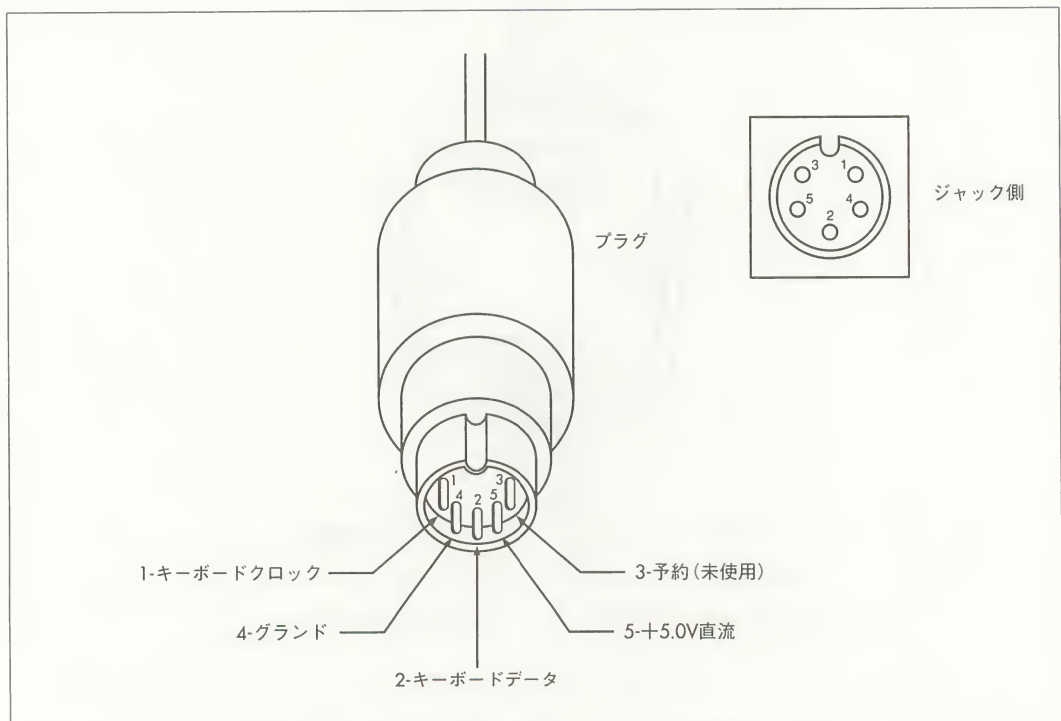



図 11-7　IBM PC、XT、AT キーボードの 5 ピン DIN コネクタ

ほとんどのパーソナルコンピュータは、キーボード接続用に標準5ピンDINコネクタを使用している。ピンの割り当ては、1ピンがキーボードクロック、2ピンがキーボードデータ、4ピンがグランド、5ピンが5V電源となっている。キーボードプラグの3ピンは、キーボードをリセットする信号を搬送するのに割り当てられているが、一般的には使用されることはなく、通常のキーボードのケーブル接続ではこのピンは接続する必要はない（前ページ図11-7参照）。

一般的にアドバンスドキーボードでは、本体背面にモジュラ（AMP）コネクタを使用しているので、ケーブルの交換は容易である。またケーブルが取り外し可能なため、システムボード入力コネクタがそれぞれ異なる、古いAT系と新しいPS／2系の両方のコンピュータで、1台のキーボードを共有することも可能である。アドバンスドキーボードのピン割り当ては、Aが予約済み、Bがキーボードデータ、Cがグランド、Dがキーボードクロック、Eが5V、Fが予約済み、となっている。コネクタの金色の端子には、左から右に向かってアルファベットの逆順でラベルが付けられている。図11-8にアドバンスドキーボードのコネクタを示す。

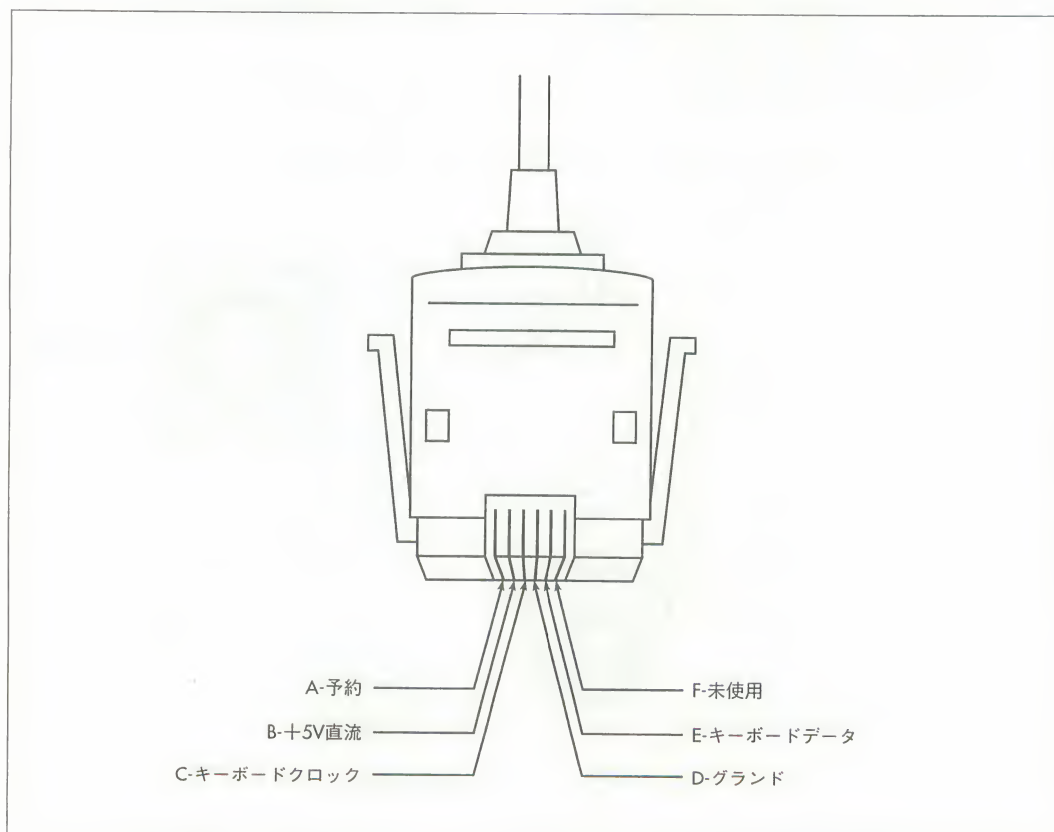



図11-8　IBMアドバンスドキーボードSDL（モジュラ）コネクタ

PS／2は、ワイヤの割り当てが異なる、6ピンの小型DINコネクタを使用している。1ピンはキーボードデータ、3ピンはグランド、4ピンは5V、5ピンはキーボードクロック、2ピンと6ピンは予約済みで、シャシーグランドとしてシールドが付いている（図11-9参照）。

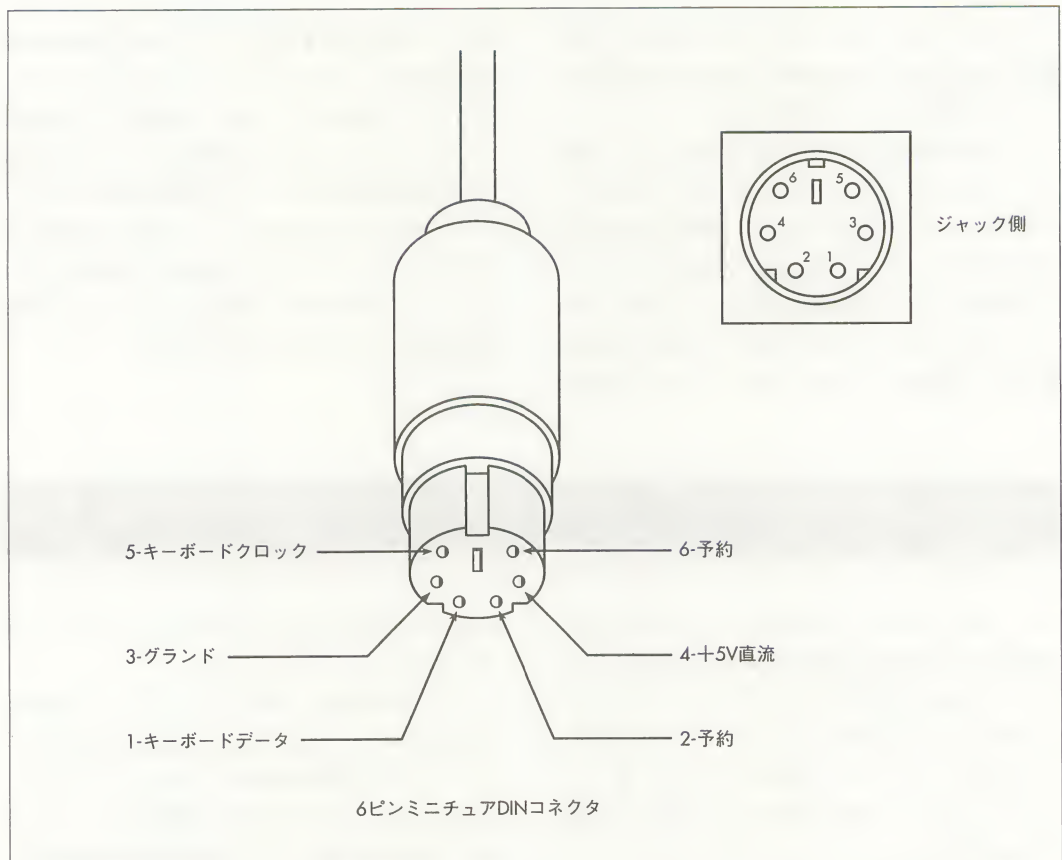



図 11-9　IBM PS／2 キーボードコネクタ

■ キーボード用延長ケーブルの作成

コンピュータから離れてキーボードを使いたい場合は、コンピュータとキーボードの間を走るケーブルを延長することができる。この**キーボード延長ケーブル**は、様々な長さの完成品が販売されており、その値段もリーズナブルなものからかなり高価なものまでいろいろである。

適当な長さのケーブルが見つからなかったり、あるいは自分専用の延長ケーブルを特別注文した場合の費用(5 倍程度)をかけるのがいやなときは、さほど面倒なく自分専用のケーブルを作ることもできる。5 ピン DIN コネクタは Radio Shack などのような電器店やパーツショップで入手可能である。部品番号は次のとおりで、それぞれ 2 ドル程度である。

- 5 ピンプラグ(オス)：「274－003」
- 5 ピンインラインジャック(メス)：「274－006」
- 5 ピンシャシー取り付けジャック(メス)：「274－005」

どんなワイヤでもほとんど機能するが、シールドケーブルを使うと電波障害を緩和できるだろう。より線は単線よりも湾曲を繰り返した場合の耐久性に優れるので、これを使用したワイヤを勧める。

キーボードの延長ケーブルのかわりに、Radio Shack のモールド DIN パッチコード(部品番号「42－2151」)を使用すれば、必要なはんだづけの回数を半分に減らして、きちんとシールドされたより線ケーブルを手に入れることができる。このケーブルは両端がオスコネクタになっているが、片側を切り取って、かわりにメスコネクタをはんだ

づけすることができる。これらのパッチコードもMIDI (Musical Instrument Digital Interface)ケーブル同様にきちんと動作する。

PS／2用の延長ケーブルを作るのはこれより難しい。小型DINプラグがなかなか見つからないからである。小型DINプラグは、特殊な電子部品を取り扱っている店に注文しなければならない。

IBMキーボードは節電設計になっていないため(たとえばアドバンスドキーボードは275 mA消費する)、使用しているキーボードのタイプに関係なく、追加できる延長ケーブルの長さはある程度制限される。ケーブルのゲージが小さくなるに従い(ゲージ数は大きくなる)、延長ケーブルは短くしなければならない。電話用のケーブルにはほとんど電流容量がなく、その範囲も極めて小さい。ケーブルを長くしすぎると、キーボードは動作が不安定になったり、まったく動かない場合もある。長いケーブルを作りたい場合は、テストして信頼性を確認しなければならないだろう。

11.2　マウス

パーソナルコンピュータの中で、多くの人々がその外観から近寄り難い感じを最も受けるのはキーボードである。DOSやOS／2バージョン1.0というわかりにくく非寛容なユーザーインターフェイスとともに、キーボードは新しいユーザーをパーソナルコンピュータから遠ざけてしまう大きな要因になっている。

コンピュータをもっと近付きやすいものにしようという努力の中で、1957年から1977年のあいだに、Stanford Research LaboratoryのAugmentation Research Centerに所属するDouglaas C. Engelbertは、特殊なポインティングデバイスとの組み合わせで画面上のグラフィカルメニューを起動するユーザーインターフェイスを開発した。画面上のカーソルの動きはデバイスの動きに対応しているので、ユーザーはポインティングデバイスを実際に動かすことによって、選択したいメニューのアイテムを指し示すことができる。アイテムを選択したいときは、デバイスの上部に付いているボタンを使用する。

デバイスは手のひらに十分収まる大きさで、ボタンは指先の下にくるようになっている。コンピュータへ接続する尻尾のように伸びたコードと、機能を遂行するために机上を動き回るその特徴的な動きから、このデバイスはすぐに「**マウス**」という名がつけられた。マウスおよび画面上でマウスを表すもの(**マウスカーソル**)を動かすプロセスを、「マウスをドラッグする」という。

マウスの概念は、1970年代にわたってXerox CorporationのPalo Alto Research Centerによってさらなる発展を遂げた。コンピュータをもっと身近なものにするために、操作を易しくすることの必要性を認識していたApple Computerは、1983年にPalo Altoのアイディアの最も良い部分を、自社の「Macintosh」に取り入れた。これにはマウスも含まれていた。入力操作の平易性よりも性能に主眼を置いたIBMでは、マイクロチャネルPS／2系の発表時に、マウスはパーソナルコンピュータの内蔵機能とするに留めた。PS／2系の各マシンにはプレーナーボード回路に特別な**マウスポート**が組み入れられている。

クリック操作

マウスには、画面上のカーソルを動かす機能に加えて、画面の要素を選択したり、確認する機能がある。この操作を**クリック**という。〝クリック〟は、左側のボタンを素早く1回押すことで、〝**ダブルクリック**〟は、同じく左側のボタンを2回押すという操作を指す。一般には、ユーザーがソフトウェアのパラメータを調節して、ダブルクリックとして認識されるボタンを押す間隔を決められるようになっている。クリックの間の時間が開きす

ぎると、アプリケーションはそれぞれ単独の〝クリック〟操作を2回行ったと認識してしまう。

一般に、ある対象をドラッグする(ある地点から別の地点まで画面のアイコンを移動させること)ためには、対象の上にカーソルまたはポインタを置いて、左のボタンを押したままマウスを机上で動かす。2、3の最新の製品や、マウスベンダーから供給されるカスタムインターフェイスを除けば、ほとんどのアプリケーションはハードウェア側が3個以上ボタンを持っていても左のマウスボタンしか使っていない。

マウスは、3つの大きな相違点によって分類される。1つはボタンの数、もう1つは利用されているテクノロジー、そしてもう1つはホスト側のコンピュータとの接続方法である。

マウスのボタン

マウスの最も単純な形は、プッシュボタンが1個だけついたものである。マウスの動きによって画面上のカーソルの位置は決定されるが、選択はボタンが押されたときにのみ実行されるので、マウスをうっかりドラッグしてしまって、意図しないメニューの選択肢が選ばれることはない。

1個のボタンはマウスの機能を実行するにあたり、最も混乱が少なく、最少限度の必要を満たしている。コンピュータの操作を簡素化すると、最終的にはボタンを押すか押さないかという単純な操作だけになる。よく考えてメニューの選択肢を作成すれば、コンピュータの全機能のコントロールを1個のボタンで済ますことも可能である。

しかし、ボタンが2個あると柔軟性が増す。たとえば、片方のボタンにDO(実行)の機能を割り当て、もう一方にUNDO(取り消し)の機能を割り当てることができる。描画プログラムの場合なら、片方のボタンで画面にラインを引くペンに相当するものを下ろし、もう一方でそのペンを持ち上げるようにもできる。

もちろん、ボタンが3個あればプログラマの自由度がいっそう増すのでさらによいだろう。4個のボタンが可能ならいうまでもない。しかし、こうしてマウスボタンの数が増えるに従い、マウスは徐々にキーボードに近づいていく。つまり、単純なマウスに比べて習得がとても難しい、手に負えない装置になっていくのである。マウスボタンを必要以上に増やすのは逆効果である。

ボタンが3個なら、親指と小指でマウスの両脇を掴みながら、人指し指、中指、薬指をそれぞれボタンの位置に割り当てられるので、この数は実用に即した限界点といえる。ほとんどのアプリケーションが使用しているボタンの数は2個以下であり、最も一般的なマウスは2ボタンタイプである。3ボタンでもまったく問題はないが(2ボタンマウスで可能なことはすべてできるし、それ以上のことも可能である)、ほとんどのアプリケーションには2個以上のボタンは必要ない。

マウスの動きと押されたボタンの情報は、一連のコードとしてコンピュータに伝えられる。図11-10~11-11に、多くの一般的なマウスで使用されるコードを示す。

データは、それによって正確な動作が得られる一連のパルスとしてコンピュータに届く。この作業は、メモリにロードされているインターフェイスプログラムかドライバソフトウェアによって行われる。これらは、DOSレベルのコマンドやMicrosoftのWindowsか、使用しているデバイスが特殊な場合はそれをサポートするアプリケーションと共にメモリにロードされる。

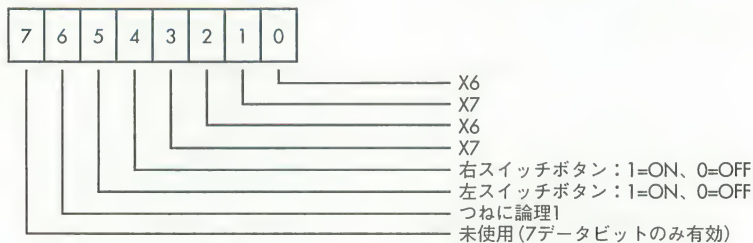
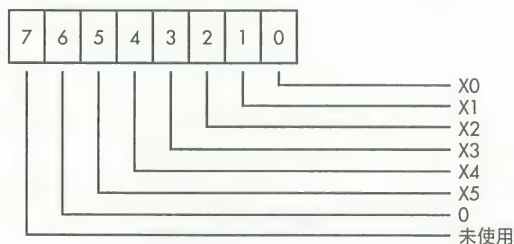
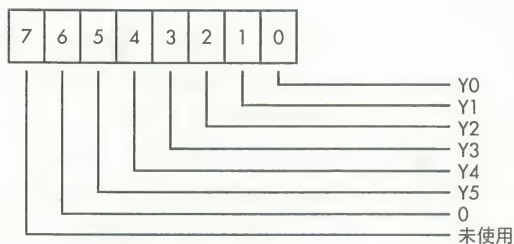
Microsoftのドライバの規格は、すべてのドライバが準拠しなければならない定義である。この代替となりえる入力装置のほとんどは、Microsoftのドライバを〝改良した〟ものとして、独自の規格を持っている場合もあるかもしれないが、同時にMicrosoftの互換品なのである。Microsoftはソフトウェアの開発者に、多くの高水準言語からアクセスできる35個のルーチンを含むマウス機能ライブラリを供給している。さらに、MicrosoftのドライバはどんΑ言語でも、あるいはDOSの〝INT 33h〟にコールを実行できるアプリケーションならどれでも、直接アクセスできる。Microsoftに準拠したマウスドライバでサポートされる機能は次のとおりである。

3バイト／2ボタン

データはマウスの状態が変化したときのみに送信される（スイッチON／OFF、マウスが移動した場合など）。位置の値は、2の補数の形で送られる。データの転送レートは1,200bpsで、データ長は7ビットワード。

バイト1：

7	6	5	4	3	2	1	0

0 — X6
1 — X7
2 — X6
3 — X7
4 — 右スイッチボタン：1=ON、0=OFF
5 — 左スイッチボタン：1=ON、0=OFF
6 — つねに論理1
7 — 未使用（7データビットのみ有効）

バイト2：

バイト3：

X0～X7=X座標の変化の8ビットバイナリカウント。動きが右方向のときは正。左方向のときは負。

Y0～Y7=Y座標の変化の8ビットバイナリカウント。動きが下方向のときは正。上方向のときは負。

図11-10　マウスの制御コード（MSC Technologies, Inc. 提供）

5バイト／3ボタン（MSC Technologies）プロトコル

5バイトが1データブロックとして使用される。データブロックの始まりは、最初の5ビットがつねに10,000（バイナリ）であるシンクバイトで判別される。残りの3ビットはマウスの3個のプッシュボタンの状態をコード化する。次の4バイトは直前に検出された地点からのマウスの位置の変化をコード化する。2番目と3番目のバイトは直前に検出された地点からのマウスのXとYの位置の変化をコード化する。4番目と5番目のバイトは2番目と3番目のバイトで示される地点からのXとYの位置の変化をコード化する。つまり、各データブロックはマウスの位置の2回の変化を2の補数の8ビットバイナリコードとしてコード化する。
X7とY7はマウスの動いた方向を特定する。X7が0のときは右方向の動きであることを表わしている。Y7が0のときは上方向（マウスコードの方向）の動きを表わしている。
コードは8ビット長、1,200bps、パリティなしで伝達される。

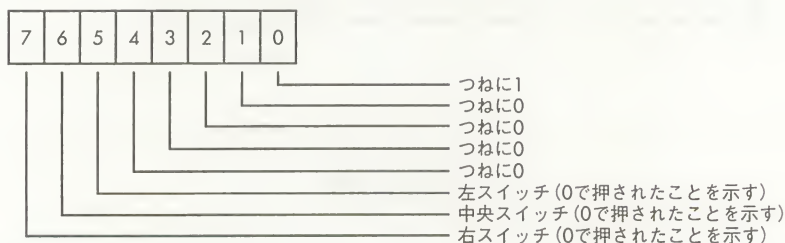
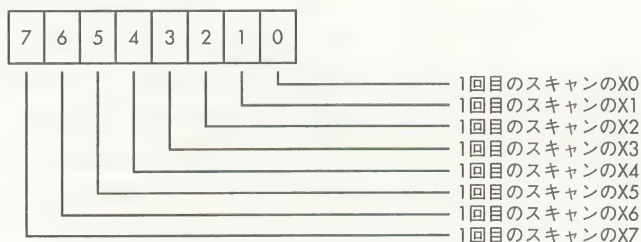
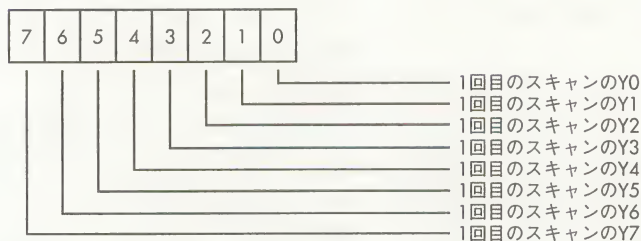
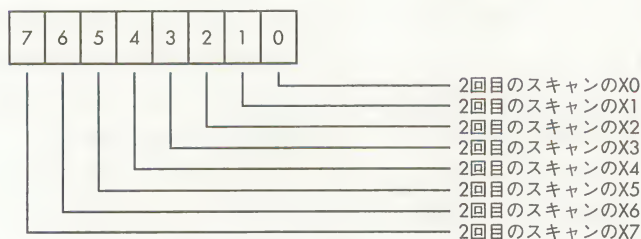



図 11-11　マウスの制御コード（MSC Technologies, Inc. 提供）

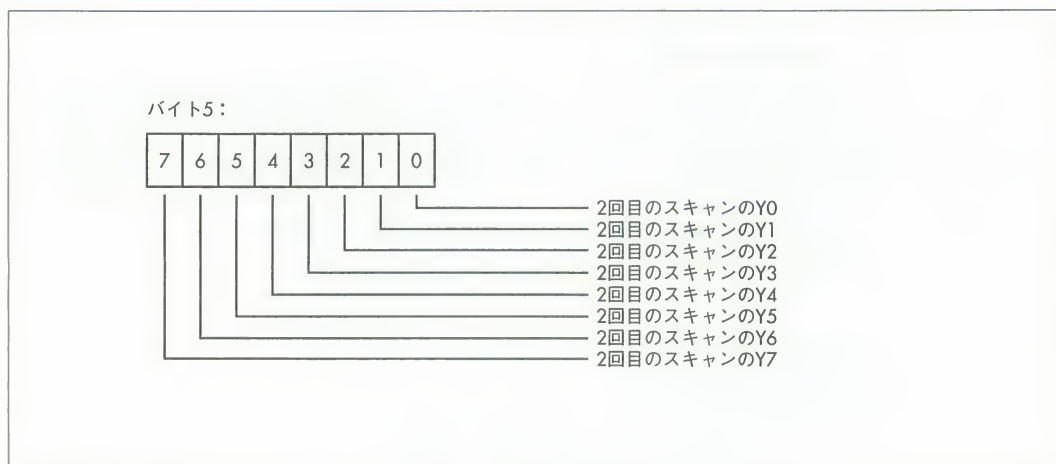



図 11-11（続き）

- マウスのリセットとステータス
- カーソルを表示する
- カーソルを消す
- ボタンの状態とマウスの位置を知る
- ボタンが押されたという情報を得る
- マウスの動きのカウンタを読む
- マウスの感度をセットする

左ききの人用に、ほとんどのマウスドライバはマウスのボタンを好きなように変更できるようになっている。

機械式マウス

最初のマウスは機械式の設計だった。この設計の基本になっている小さなボールは、本体の底からはみ出ており、マウスが動かされるとともに、面に沿って回転する。また、このボールは回転するとともに、それがはめ込まれているくぼみの中で、感知ローラーと接触するようになっている。

マウスが机上に沿って動くと、ボールがローラー（Microsoft はこれを〝シャフト〟と呼んでいる）と接触してこれを回転させる。このローラーの先には電極（プリントパターン）が輪状に並んでいる回転盤（〝エンコーダ〟という）が付いている。ローラーの回転に伴い回転盤が回ると、ブラシ（電極）が回転盤の電極と接触する。この接触によって電気パルスが生成され、電子回路でカウントされる。

パルスは、回転の方向によって必ずマイナスかプラスのどちらかになる。パルスの極性からマウスの動いている方向を、パルスの速度からマウスの動いている速さを電子回路を通して知ることができる。マウスボールがはめ込まれているくぼみの中の2本のローラーは、横と縦の動きが測定できるように互いに90度の角度をなしている。両方のローラーが回転しているときは、マウスは斜めの方向に動いているのであり、電子回路で相対的な速度とパルスの極性を判断して、動きの正確な方向を割り出すことができる。

アプリケーションに何が選択されたか知らせるクリック動作を検出するために、1個以上のマイクロスイッチが使用される。スイッチが閉じられると単純なオフまたはオンの状態として判断される。1回素早く閉じられると1回クリックされたことになる。連続して素早く2回閉じられた場合はダブルクリックということになる。

ボールはどの方向にも自由に回転するが、2次元の座標系の2本の軸に対応して、4方向の回転だけが認識される。4方向の動きはそれぞれ量子化され（百分の1インチ単位）、それぞれの移動の増加量が別々の信号としてホストへ送信される。

機械式マウスはどのような表面でも概動作する。なめらかな表面でも滑らないように、ボールの表

面は、きめが粗い合成ゴムでできているのが一般的である。実際、機械式マウスを持ち上げて指でボールを転がすこともできる（ただしこの状態でプッシュボタンを指で触るのは難しいだろう）。

機械式マウスは何かの表面にあてて動かすという動作が必要だが、これに対して、机上にはマウスをうまく動かすための十分なスペースがない場合が多い（もちろんほかに方法がなければ、機械式マウスをズボンやスカートの足の部分の上で動かすこともできるが、これは他人からは奇妙な格好に見えそうだ）。さらに、機械的な部品は壊れる可能性がある。機械式マウスにはほこりや糸屑などが入りやすく、これらはマウスの適切な動作の障害となる。自分の机の上はきれいだと思っていても、そのうち定期的にマウスを掃除したくなるはずだ。

機械式マウスはIBM、Logitech、Microsoftを含めて多くの会社で製造、販売されている。

光学式マウス

機械式マウスに代わるテクノロジーが光学式マウスである。光学式マウスでは、回転するボールの代わりに、光線を使って、ある特殊な模様がついた**マウスパッド**の上のマウスの動きを検出する。動く部品がないということは、光学式マウスはごみが入ったり壊れたりする可能性が低いということである。最も一般的な光学式マウスはMSC社（この社名は旧社名の〝Mouse System Corporation〟から付けられた）製のものである。MSCマウスは、底に2組のLEDとフォトディテクタがあり、LEDとフォトディテクタは互いに直角を向いている。マウスパッドの表面は、ブルーとイエローのグリッドが重なったパターンで覆われており、LEDとフォトディテクタの2つのペアはそれぞれ、グリッド2つの軸に対する2方向の動きを検出する。

パッドから反射した光は、まずマウス内部の小さな受光器に入り、あるものはプリズムかレンズを通って、センサーに光を反射させる鏡まで到達するように設計されている。反射パッドはきわめて細かいグリッドのラインに分割されている。これらのライン上でマウスを動かすと、内部の電子回路が光の変化を読み取りパルスをカウントする。

パルスを受け取りカウントするときの光学式マウスの働きは、機械式マウスやオプトメカニカルマウスと変わらない。ただし、光学式マウスには機械部品がないので、動かしたときの感触は明らかにほかのマウスとは違うはずだ。マウスの底の部分はフェルト状のものでカバーされているため、プラスチックでコートされているマウスパッドの上のマウスの動きはスムーズである。

光学式マウスの大きな欠点は、専用のマウスパッドがかならず必要なことである。しかしこれは逆に、マウスパッドをどこかに置きさえすれば、つねにマウスを動かす場所を確保できるということでもある。パッド自体は汚れるし傷もつく。また、マウスパッドはプラスチックでコートされているため、湿気の多い日には手に貼り付いて持ち上がってしまうという欠点もある。しかしながら、エアコンのある普通のオフィス環境では、このパッドは耐久性があり、問題もないことが分かるはずだ。

オプトメカニカルマウス

オプトメカニカルマウスは、機械式マウスと光学式マウスの中間に位置するハイブリッド設計である。この設計では、純粋な機械式マウスと同じようにボールが機械的にローラーを回転させるが、メカニカルな電気接触を使用する代わりに、オプトメカニカル設計によって溝もしくは穴のあいた輪が回転するようになっている。LED（発光ダイオード）がこの輪を通して光り、光学センサーがその結果生じるパルスをカウントするという仕組みだ。

オプトメカニカルマウスは、基本的には純粋な機械式マウスと、動かしたときの感触は変わらないし、内部の電子的な働きも基本的には同じである。両者の違いは電子的なパルスの生成方法だけである。

シリアルマウス

コードをコンピュータに伝達するために、マウスは何らかの方法でコンピュータに接続されなければならない。マイクロチャネルPS／2は、専用のマウスポートを搭載してこの接続を簡単にして

いる。しかし、PCや多くの互換機にはこのポートは装備されていない。

ほとんどのマウスは一般的に利用が可能なポート、つまり標準シリアルポートに適合している。このマウスは**シリアルマウス**と呼ばれ、接続するだけでマウスの動きを表わすコードがシリアルポートへ伝わるようになっている。マウスを動作させるためのドライバソフトウェアは、ポートにマウスの新しい動きを示すコードが現われるたびに、割り込みを生成してマウスに優先権を与える。ドライバはそのとき、マウスのコードを制御下にあるソフトウェアへ転送する。

シリアルマウスの長所の1つは、ほとんどのコンピュータが現在持っているポートにすぐに接続できるということである。しかしこれは同時に、モデムやデスクトップネットワーク、プリンタ、そしてこれ以外でシリアルコネクタに接続する装置を持っているユーザーにとっては、不都合な点でもある。シリアルマウスはコンピュータに適切なドライバがインストールされていれば、どのコンピュータでもすぐに使用できる。

バスマウス

シリアル接続によるマウスはうまく動作するが1つだけ問題がある。2つのシリアルポートをすでに使用しているパーソナルコンピュータでは、マウスのために使用できるポートがないということだ。この代替手段として、コンピュータの拡張バスに接続する専用のマウスアダプタにマウスを接続する方法がある。このいわゆる**バスマウス**は、専用のポートを使用しているという点を除けば、シリアルマウスとまったく同じように動作する。

ほとんどの場合、この特殊なマウスポートはRS−232規格に準拠しており、DOSが直接アクセスできない点を除けばシリアルポートとまったく同じ働きをする。DOSがこれに直接アクセスできないのは、オペレーティングシステムはポートがどのI／Oアドレスに割り当てられているかわからないからである。この点を除けば、バスマウスはほかのマウスとまったく同じで、光学技術でも機械的な技術でも利用でき、ボタンの数の制限もない。

バスマウスはアダプタカードを用意するために余計な費用がかかるので、余分にシリアルポートを持っている人は恐らくシリアルマウスのほうを選ぶだろう。しかし、シリアルポートが足りない人はバスマウスを手に入れなければならない。IBM PS／2マウスはホストコンピュータに内蔵されたアダプタを持った一種のバスマウスである。

ワイヤレスマウス

マウスとコンピュータの接続方法として前述のタイプとはまったく異なるのものに、接続を一切使用しない方法がある。これがワイヤレスマウスである。この装置では、コードは低出力の無線信号か赤外線信号を使って、ホストのコンピュータへ送信される。マウス本体は、標準的な機械式あるいは光学式の装置である。

ワイヤレスマウスによってユーザーは、ワイヤを机上でくねらせてマウスを使用しなければならないという比較的小さな制約から解放される。また、コンピュータから少し離れた演台でプレゼンテーションを行う場合にも有効だろう。

赤外線技術は無線システムより安く装置を準備できるが、送信機(マウス)から受信機(コンピュータのシリアルポートかバスポートに接続されたボックス)の間に、遮られない赤外線信号の通路が必要である。テレビやビデオのリモコンに使われているような赤外線信号は、受信機から約15フィートまでの範囲内なら有効である。信号は必要な場合は天井や壁で反射させることもできる。

無線システムは、受信機が見えないような位置でも使用することができ、赤外線のような制約はない。

11.3 トラックボール

トラックボールはマウスを逆さまにしたものと考えればよい。マウスのようにボールはくぼみにゆるくはめ込まれており、その中でボールが動くことによってセンサーも動き、横や縦の動きを探知できる。トラックボールの長所は、キーボードの本体に組み込めるため、通常のマウスの操作に必要なデスクスペースが要らないということである。トラックボールは机上でハードウェアを動かすかわりに、ユーザーが手を使ってボールを転がして使用するのだ。

トラックボールの設計にも大きく2種類あり、1つは動かすボールが手のひらサイズの大きいもので、これはボールの回転が大きい割には画面上の動きは小さい。もう1つは、小さなビー玉大のボールを使用したもので、少ない回転で大きいカーソルの動きを生じる。

ラップトップやノートパソコンでの使用を目的とした小型の〝クリップオンマウス〟の設計にもトラックボールが応用されている。

トラックボールに求められる重要な機能は、**ドラッグ／ロック機能**（ボタン）である。この機能があれば、画面上の要素をある位置から別の位置へドラッグするときに、トラックボールのクリックボタンに指をのせたままボールを転がす必要がなくなる。

11.4 ジョイスティック

ジョイスティックの働きは、それぞれが縦と横の動きをモニタするセンサーを持っている点で、基本的にマウスと同じである。一般的にジョイスティックでは、ローラーのかわりに圧力感知回路か機械的な分圧器を使用している。これらは電子回路の抵抗を変えることによって電圧を変えるものである。

11.5 解像度

解像度は、入力デバイスがどれぐらい小さな距離まで判断できるかという能力を表わすものである。一般に最新のマウス設計では、1インチあたり400ポイント（ppi：points per inch）の解像度をサポートしている。これは初期のモデルの解像度の2倍にあたる。中には700ppi、1000ppi、あるいはそれ以上の解像度をサポートしている製品もあるが、約700ppiを超えると、平均的なユーザー、特にVGA程度もしくはそれより低い解像度の画面を使用しているユーザーには、デバイスの感度は過剰になる。

機械式マウスやオプトメカニカルマウスによる高解像度のサポートは、回転盤の光を通す穴や電極が多くなると、機械式のブラシが見逃してしまうセグメントが多くなるという問題を含んでいる。光学式マウスによる高解像度は、縦と横のグリッドラインの間隔と、グリッドを読み取るマウスの電子回路の能力によって決まる。

マウスベンダーの中には、物理的な解像度は変えずに、ソフトウェアのルーチンを使って有効解

像度を変えているところもある。実際のパルスをカウントしてから物理的なパルスの間に落ちてしまったデータを補正することによって、高解像度の性能をシミュレートすることができる。

アプリケーションによっては、解像度はほかの何よりも重要な要素になる。たとえば、ワードプロセッサや表計算ソフトでマウスを使用する場合には、文字やセルにカーソルを動かすなど、比較的大きな解像度で十分でだが、グラフィックスを操作するのであれば高解像度は必須である。

低解像度マウスと高解像度マウスを、すべての条件を同じにして使用すると、画面の動きの速度に違いがあることにすぐ気付くだろう。高解像度マウスは低解像度マウスより感度が高くスピードも速い。

多くの入力装置では、ユーザーがその感度、つまり、装置の実際の移動距離と画面上の移動距離の関係を変えられるようになっている。高感度というのは、より小さなマウスの動きで画面上のポインタを大きく動かすことができるということである。

同様に、アクセラレーション機能は、通常はソフトウェアの設定で変更できるようになっている。アクセラレーション機能は、マウスを動かしたときのマウスの速度および移動距離と、カーソルの動く速度および移動距離の二者の関係である。マウスを動かしたときの速度が速くなるに従い、画面上のポインタまたはカーソルの1パルスあたりの移動距離は大きくなる。逆に、マウスの速度が低下するとカーソルの移動距離は減少する。

11.6　ライトペン

画面を直接指し示すことができると、コンピュータに対する指示が明確になることがある。もし、画面上のあるものを指で差して移動させることができれば、コンピュータの迅速で、簡単な制御が可能になるだろう。

ライトペンはまさしくこれを実現するものである。ライトペンは形はペンのようだがコードがついており、画面のある位置をペンで指すと、コンピュータがその位置を認識できるようになっている。この仕掛けはペンの中にある。ペンの先端は明るさの変化が検出できるフォトディテクタになっている。コンピュータのモニタのブラウン管は、電子光線が画面上のきわめて小さな点を走査することによって、その点を点灯させて表示を行っている。画面の各点は光線が当たるたびに一瞬光る。光線はブラウン管の表面の走査をとても速い速度で繰り返す（毎秒50回から70回）ので、肉眼ではずっと光ったままのように見えるが、ライトペンの高感度の目にはそうでないことがわかる。

ライトペンは画面の点が光ると即座に記録して、コンピュータに信号を送る。コンピュータは走査している電子光線の位置をつねに知っているので、すぐにペンの位置を算出することができる。こうしてライトペンによって、コンピュータは画面のどこを指されているかわかるのである。

ライトペンはポインティング動作が必要なものなら何にでも使用できる。たとえば、描画プログラムではこのライトペンを利用して、まるでペンにインクが入っていてモニタの画面が紙であるかのように、画面上に線を引くことができる。ライトペンはグラフィック編集にも使用でき、グラフィックアーチストは画面をペンで指したり、修正したり移動したい部分をペンで囲むだけでいい。

モニタの解像度の限界が低いとライトペンは効果がないという点や、一日中画面に向かってライトペンを使用すると腕が疲れてしまうという点を除けば、ライトペンは概して素晴らしいアイディアといえよう。

IBMは、PC、XT、ATで使用するグラフィックディスプレイアダプタに、ライトペン用のインターフェイスを装備している。ただし、カード上にヘッダコネクタが付いているだけなので、ユー

ザーはそのコネクタから外側にあるライトペンまでつなぐケーブルを用意しなければならない。ほとんどのライトペンは、IBMのモノクロディスプレイでは動作しないため、モノクロのアダプタにはライトペンのインターフェイスは含まれていない。IBMのモノクロディスプレイでライトペンが使えないのは、その緑色の画面の発光は残光時間が長いため、ライトペンが画面上の自分の位置を検出するのに必要なシャープなオン／オフの変化が得られないからである。

ライトペンは、それだけではほとんど何の役にも立たない。ライトペンはI/Oポートに信号を供給するだけで、何が信号を処理すべきか考えるのはソフトウェアの仕事である。ライトペンを使うためには、特別なソフトウェアドライバか、ライトペンを使用するために特別に書かれたアプリケーションが必要である。

11.7 タッチスクリーン

指を差すという動作は、人間にとってきわめて自然な動き（無礼になる場合もあるが）なので、データ処理の制御用にこの人間の機能を利用して、いくつかの技術が開発されてきた。最も自然なポインティングデバイスは、当然「人差し指」である。好みの問題を抜きにすればほかの4本の指もそうである。コンピュータに指が差している対象を認識する手段を与えれば、人間の小さな付属器官である指が、本物のデジタルインターフェイスに変身する。

タッチスクリーンはまさにこの目的で開発されたものだ。このテクノロジーはコンピュータのディスプレイスクリーンの上もしくは近くに指が存在することおよびその位置を検出することができる。これまでに少なくとも2種類の検出方法が開発されている。1つは、画面の表面に直接接触することによって、指の存在を電気容量の変化で検出する方法である。もう1つはHewlett－Packard社のタッチスクリーンシステムに採用されている方法で、画面の周囲に特殊なフレームを使用するものである。このフレームは長方形で、直交する2つの辺には目に見えない光を発するLEDが、また、それぞれの反対側の辺にはフォトディテクタがついている。画面に指が近付くと継続していた光線の流れが遮断されるため、コンピュータはその位置を特定できるという仕組みである。

タッチスクリーンのテクノロジーは極めて自然なインターフェイスだが、それゆえに必然的な問題を抱えている。ライトペン同様に、画面に手を伸ばして通常の日常業務を行わなければならないため、二頭筋と三頭筋は大いに鍛え上げられ、この作業で腕はすっかり疲れ果ててしまうのだ。また、画面には油よごれが付着しがちで、多人数でコンピュータを共有している場合は特に画面の手入れが行き届かなくなり、画面は得体の知れない汚染菌や微生物の温床となってしまうかもしれない。

タッチスクリーンの最も大きな問題は、精度というたいへん現実的な問題である。ライトペンが一定の画素をすべて指示できるのに比べると、タッチスクリーンのポインティング能力は実にお粗末なものといえる。画面は碁盤模様に分割された約16×16の解像度しかない。タッチスクリーンはメニューの選択には有効だが、画面上でのグラフィック編集や製図といった用途を満足させることはほとんど不可能である。

タッチスクリーンは、実行したい機能を指で差すことができるという特徴を生かし、コンピュータ処理の複雑性に精通していない一般大衆とコンピュータとを結ぶ手段として効果的に利用されてきた。しかし、コンピュータに熟練したユーザーにとっては、タッチスクリーンは風変わりな時代錯誤に感じられることだろう。

11.8 ペンコンピューティング

論理的には、ペンコンピュータはカーソルキーやマウス、キーボードがなくてもコンピュータの使用を可能にしたもので、ペンコンピュータを使えば手書きのメモもコンピュータが理解できる情報に変えることができる。このテクノロジーは研究所から出て市場へと歩き始めたばかりであるが、様々な点で、問題の新しい解決法となるものだ。

ペンコンピュータは、**ジェスチャ**と呼ばれるペンの動きを認識するように改良されたオペレーティングシステム(DOSベースまたはWindowsベース)をベースにしている。普通のオペレーティングシステムとペンコンピュータ用のオペレーティングシステムで大きく異なるのは、キーストロークに相当する手書きされたキャラクタを、コンピュータが記録できるキャラクタに変換するプログラムの存在である。ペンコンピュータ用のシステムでは、手書きのイメージをベクトルをベースにしたグラフィックとして記録する。グラフィックプログラムでは、画面は1枚の電子的な紙として、また画面に置かれる筆跡は〝インク〟データとして扱われる。

文字認識システムでは、手書き文字を英数キャラクタに変換できなければならないが、初めて文字認識が行われた頃は、1文字あるいは1数字あたり約98%の成効率しか保証されていなかった。98%というと、とても高い認識率に思われるかもしれないが、実際はそれほどよいわけではない。98%というのは、5つのキャラクタで構成される平均的な単語の場合は、実際の認識率は約90%ということになるからだ。これをさらにいい換えると、10個の単語のうち1個は誤認識されるということである。

プラスの面として、ペンコンピュータの最大の有用性は、在庫管理システムのようなチェックリストを使用するアプリケーションにあるといえるだろう。

多くのペンコンピュータメーカーは、この賭けの逃げ道として、キーボードを付属したシステムや、ポートに外部キーボードが接続できるシステムを発売している。

ペンオペレーティングシステム

ペンポインティングデバイスを使用するための制御プログラムの中で、主な2つは、Microsoftの「Windows for Pen Computing」とGO Corporationの「PenPoint」である。

MicrosoftのWindowsの下で走る既存のアプリケーションに、ペンポインティングや手書き認識の機能を追加するにはWindows for Pen Computingが適当である。これであればWindows用にすでに設計されている莫大な数のプリンタドライバやほかの装置でも動作する。ペンオペレーティングシステムで作ったファイルは、標準のWindowsで直接動作する。

Microsoftの製品には、ユーザーの手書き文字を認識するために、コンピュータに〝学習〟させるシステムが含まれている。

多くのペンベースシステムにインストールされているPenPointは、文書をあたかもノートの1ページのように扱っている。ページを選ぶと、同時にそのページが作成されたアプリケーションも一緒にオープンするのだ。オペレーティングシステムはDOSとは互換性はない。PenPointで作成されたファイルを別のコンピュータで走らせるためには変換する必要がある。

11.9　そのほかの入力装置

コンピュータメーカーは、コンピュータの手となるような道具を探し続けている。この市場で最も大きな動きを見せているのがMicrosoftとIBMだ。

IBMの「PS／2 Trackpoint」は、狭いスペースでの使用を目的にした小型のマウス／トラックボールのような装置である。Microsoftの「Ball Point Mouse」は、ラップトップ用キーボードの端にはさんで固定してポインティングデバイスとして使用する。

Prohanceの「Powermouse」は、すべての数字キー、Backspaceキー、Escapeキー、それからMenu、File、Formatなどのカスタムキー、そしてアプリケーションによって機能が変更できるテンプレート付きの10個のプログラム可能キーが付いたものだ。

Calcompの「Wiz」は、マウスとグラフックスパッドを組み合わせたもので、パッドには様々なアプリケーションに合わせて使用できる多色のカバーシートがついている。マウスには6個のボタンがあり、1000dpiの解像度で操作できる。さらにオプションでペンも追加できる。

米国の大きなキーボードメーカーであるKey Tronic Corporationは「Keymouse」という入力装置を発売している。これは文字キーの1つを（普通はJ）特殊なグリッドベースのスイッチにしたキーボードである。キーボードをマウスモードに切り換えると、このキーは各方向から加えられる圧力を感知して、マウスのように画面上のカーソルを移動させることができる。ほかにもマウス機能用に特定のキーを専用に割り当てた製品がある。

Grid Systems Corporationはポータブルタイプのマシンやラップトップコンピュータ用の入力補助装置を提供しているメーカーの1つである。たとえば、「GridPAD Computer」は、縦横が9×12インチで、1インチをわずかに超える厚さのケースに収められている。ケースの上部は描画画面になっており、電子ペンを使って入力ができる。ユーザーが画面に直接書き込みを行うことによって、電子ファクシミリのビジネスフォームに記入できるようになっている。

Gridの製品には、これ以外にもあまり一般的ではないが、「Isopoint」というポインティングデバイスがある。この回転しながらスライドする装置は、いくつかのモデルではキーボードのスペースバーの下の部分に組み込まれており、親指で回転させたり、横にスライドさせたりして使用する。スペースバーに並行な長方形のキャリアの中に短いシリンダがあり、このシリンダを上下に回転させると、画面上のカーソル（ポインタ）も上下に動き、シリンダを左右にスライドさせると、カーソルもそれに応じて移動する。また、Isopoint全体がマウスボタンの代わりになっているので、どこでも好きなところを押せばいい。

11.10　割り込み動作

標準ISAバスコンピュータで使用される入出力装置はいずれも、マイクロプロセッサがどこを見て情報をどう処理したらいいかわかるように、I／OアドレスとIRQ（割り込み要求）の設定が必要である（マイクロチャネルとEISAボードはこれらの割り当てを自分自身で扱う機能を持っている）。

メモリ内の装置の割り振り場所を表わすI／Oアドレスは、16進数で表わされる。IRQは装置がプロセッサに伝えるウェイクアップコールである。

80286、386、486をベースにしたコンピュータは16個のIRQが使用でき、これらには0から15までの番号が付けられている。古い8088や8086

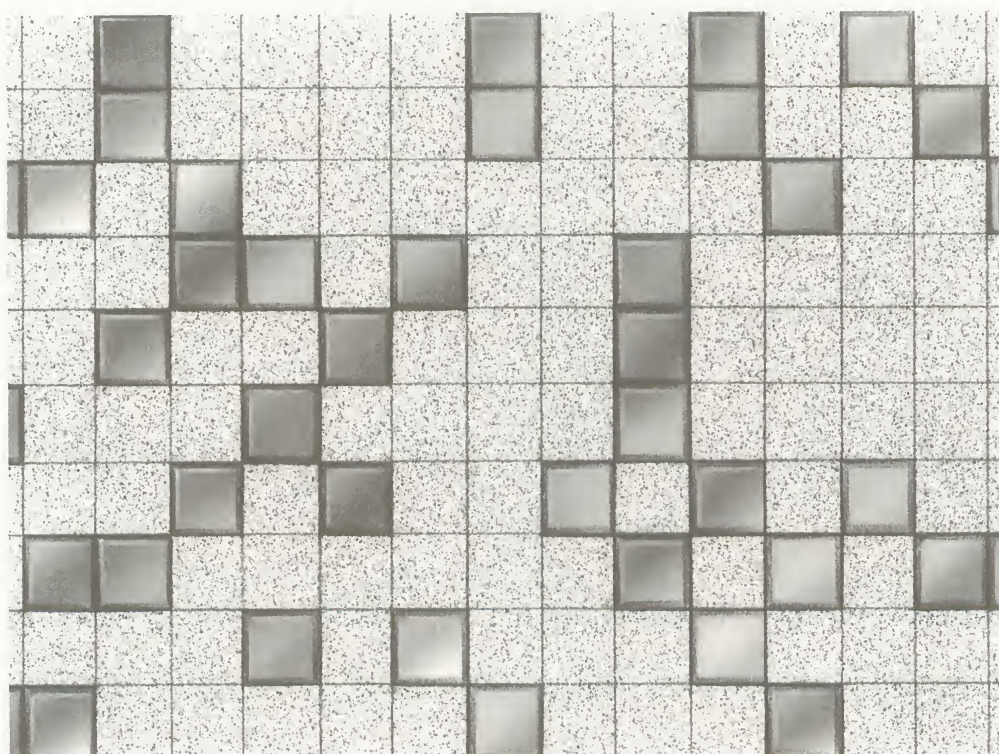
ベースのコンピュータでは、IRQは0から7までの8個しかない。16ビットコンピュータで8ビットのカードを使用する場合は、カードは最初から8番目までのIRQを使用する。

I／Oアドレスは通常特別な位置に割り当てられている。以下は標準の割り当て場所といくつかの装置のデフォルト設定である。

	I／O	IRQ
COM1	03F8H	IRQ4
COM2	02F8H	IRQ3
LPT1	0378H	IRQ7
LPT2	03BCH	IRQ5

コンピュータのバスに接続する装置の割り込みとメモリの割り当てには注意しなければならない。競合する場合には再割り当てが必要になる。自分で行った割り当てのリストは、メモを残してコンピュータの側にでも置いておいた方がよいだろう。また、システムの中の装置の設定リストを作成するユーティリティや診断プログラムも使用できる。

第12章

ディスプレイシステム

パーソナルコンピュータのディスプレイを見れば、そのマシンが仕事を確実にこなしているかどうかがわかる。これは、ディスプレイが視覚的なフィードバックを即座に返してくるからであり、それによってパーソナルコンピュータは、ユーザーに対して対話型の操作方式を提供することができるのである。ディスプレイシステムは、パーソナルコンピュータの動作速度に大きく影響を与え、また、パーソナルコンピュータを使用するユーザーの楽しみ（もしくは苦しみ）もここから反映されるといっていい。ディスプレイは様々な技術を結集して作られており、そこに何を表示するか、表示の鮮明度や表示速度をどうするかといったことにも、様々な選択肢が用意されている。

「百聞は一見に如かず」というが、計算や文字入力の結果を見ることができなければ、パーソナルコンピュータはツールとしてまったく役に立たない。コンピュータがどういう仕事をしたのか、また時間をさいてまでコンピュータにデータを与えたのにうまく行かないのはなぜかを知るには、コンピュータの出力を目で確かめる手段が必要だ。コンピュータから出力されるものを見るためには、現在はビデオディスプレイが使われている。これはちょうどテレビのようなもので、アンテナの代わりにケーブルでCPUとつながれている。

12.1 ディスプレイの基礎

コンピュータが考えていることを出力する装置としては、ビデオディスプレイが最初ではない。テレビが発明される以前、少なくともテレビが商品化される以前にコンピュータは存在していた。初期のデータプロセッサは、出力装置として、その先祖にあたる機械式の計算機が使用していたのと同じ「プリンタ」を使っていた。つまり、処理結果を印字データとして出力していたのである。ビデオディスプレイを使用する今の時代から見ると、にわかには信じがたい世界である。

テレタイプ出力

プリンタの中では**テレタイプ**が主流で、単語や数字を送り出す装置として長らく利用されてた。初期のコンピュータは、1回に1つずつキャラクタをテレタイププリンタに送っていたが、それはまるで、慣れないキーボードを使い始めた人が、長い文章を1文字ずつ打っているようなものだった。

ビデオターミナル

現在では、テレタイプは絶滅寸前の種か、骨董品といった状態になってしまったが、テレタイプが使用していたデータ転送や表示の方法は、いまだにハイテク玩具の分野で役に立っている。これらの機械は、キャラクタを用紙にこつこつ打ち出すのではなく、電子的なテレタイプ、つまり、コンピュータ端末にキャラクタを送信する。この装置は**ビデオデータ端末**(**VDT**：Video Data Terminal、**ビデオ表示端末**＝Video Display Terminal と呼ばれることもある)と呼ばれているが、それは、この装置が表示のためにビデオディスプレイを使っており、また、通信回線の終点であるユーザーの目の前にあるからである。

最も初歩的な端末は、〝**ダムターミナル**〟といわれるもので、これは、送られてきたキャラクタを用紙の代わりに、蛍光物質でコートされた画面上にそのまま表示するだけである。これには特筆すべき機能はほとんど見られない。用紙をガタガタ回す代わりに、電子の行が次々に上へ巻き上げられていくように見えるだけだ。当然、この端末は用紙切れに困るということはない。新しい行を受け取るたびに、画面をスクロールアップさせて、表示に必要な空白のスペースを下へ用意するので、視覚的にはスクリーンが次々新しく供給されるように見える。だが残念なことには、この出力表示の鮮明度は薄紙より劣る。また、画面上方の表示からどんどん消えてしまうため、表示を二度と見ることができなくなるという欠点もある。

一方、**スマートターミナル**(**インテリジェントターミナル**)と呼ばれるものは頭がよく、コンピュータのようなデータ処理をある程度行う能力がある。スマートターミナルは、ディスプレイを制御する特殊なコマンドが理解できるため、ある種のコンピュータのような機能さえこなすことも可能だが、最も頭の良いターミナルでも、普通のダムターミナルのような仕事に追いやられていることが多い。

印字する用紙は一方向にしか動かないという特性が、機械的なテレタイプの動作を限定してしまっている。用紙もテレタイプの出力も、けっして後ろへ戻ることはできず、株式相場表示器のように、延々とテキストの帯を出し続けるだけである。テレタイプはすでにタイプされたものの上にはタイプすることはできないし、後方へジャンプさせるには、空白行が印字されているかのように、根気よく用紙を前に送り続けなければならない。

電子的な方式をとるコンピュータ端末で、テレタイプ式にテキストを扱うということは、画面上のキャラクタの1つを変えるのに、テキストが表示された全画面を、まるまる作りなおして端末に送るということである。このシステムでは、表示のバックアップを取っておいて、変更すべきキャラクタを1つだけ変えるということはできないため、画面を急いで前へ送って、その後で表示全体を再生しなければならないのである。

大昔のコンピュータやガタガタいうテレタイプは、現在ユーザーの机上にあるような静かで行儀

のいいパーソナルコンピュータとは似ても似つかないものである。しかし、最も単純なプログラムには、このきわめて原始的なビデオ画面の通信方法が受け継がれている。つまり、そういうプログラムは、生成したキャラクタを1つずつディスプレイに送るのである。ただし、通常の通信とは異なり、この場合テキストデータは、はるか遠くへ移動するのではなく、単にパーソナルコンピュータ内のあるメモリから別のメモリへ移るだけである。プログラムは、コンピュータのビデオシステムを、端末の画面のと同じように操作しているのである。

多くのコンピュータがやむを得ず採用しているこのビデオ表示方式は、**テレタイプディスプレイ**と呼ばれる。最初のPC以降発展してきたIBM標準機にとって、テレタイプディスプレイは、初歩的なプログラムや、洗練されていてもプログラマが見栄えを良くする仕事を怠っていたプログラムで使用されている、過去の遺物にすぎない。しかし、IBMのシステムBIOSは、テレタイプの出力を最も高いレベルでサポートしている。

実際には、このBIOSのサポートが、かえってテレタイプディスプレイの速度を落としている。これは、IBMのBIOSは、キャラクタのひとつひとつをソフトウェアに扱わせるためだ。標準的なシステムのファームウェアには、プログラムからキャラクタを取り出して次のビデオメモリに格納するコマンドしかないため、各キャラクタを表示するたびに、一連のプログラムインストラクションが実行されなければならず、そのインストラクションの実行には相応の時間がかかるのだ。

このように、ソフトウェアによる処理にはオーバーヘッドがあるため、テレタイプディスプレイの実際の速度は、マイクロプロセッサの性能に左右される。プロセッサが高速であればソフトウェアも高速に実行されので、画面表示も高速になる。

キャラクタマッピング

数年のうちに、パーソナルコンピュータの画面上にテキストを表示させる方式として、**キャラクタマップ**ディスプレイが主流になった。この技術は、表示するキャラクタを格納する場所として、メモリ上の特定の場所を確保し、プログラムはそのメモリのデータを然るべきメモリへ入れるだけで、画面にテキストを表示することができるというものである。

パーソナルコンピュータで利用されている一般的なキャラクタマップディスプレイのシステムは、画面を横80字、縦25字のマトリックスに分割して扱っている。画面にキャラクタを表示するには、そのキャラクタに対応したコードを、マトリックスのセルに書き込むだけでいい。また、画像を表示する際には、ディスプレイシステムがマトリックス全体を読み出し、これをモニタ画面を走査するシリアルデータのストリームに変換し、そのデータをビデオ出力へ送るのである。ここから先は、信号の取り扱いはモニタに任せられる。

変換を行う速度が速いことは、キャラクタマップディスプレイシステムの1つの長所といえる。プログラムは、キャラクタを画面上の上下左右どこにでも、好きな順で置くことができる。キャラクタの上に別のキャラクタを重ね書きすることもできるし、上書きをして前のキャラクタを消してしまうこともできる。変更する必要のあるキャラクタだけメモリを書き換えればよいため、画面の更新を高速に行うことができる。プログラムがキャラクタをディスプレイメモリのマトリックスに入れたあとは、そのプログラムがキャラクタを移動させるか、あるいは別のソフトウェアがそのメモリを書き換えるまで、キャラクタはそのままでいる。

キャラクタマッピングを行うには、画面メモリの各アドレスの正確なロケーションをアプリケーションが知っている必要がある。すべてのパーソナルコンピュータですべてのアプリケーションが動作できるようにするために、各システムが使用するアドレスは同じでなければならない。さもなければ、どのアドレスが使われているかを調べる手段が必要になる。

最初のPCでIBMは、画面に表示するキャラクタを格納するために、2ブロックのアドレスを予約した。1つはカラーテキスト用、もう1つはモノクロ用で、DOSメモリの上位にあったが、IBMはこれを公式な標準規格にしようとはしなかった。しかし、ソフトウェアのプログラマは、ソフトウェ

アを許容できる速度で動かすには、このキャラクタマップモードを使うしかないと考えた。そして、業界全体がこのアドレスをあてにしてソフトウェアを書くに至り、IBMが標準化しなかったこのアドレスは非公式な標準となった。

IBM方式では、パーソナルコンピュータをカラーモードで動作させる場合は画面メモリのあるアドレス領域を使い、モノクロの場合は別の領域を使う。IBMのBIOSは、システムが現在どちらのモードを使っているのかを表わすために、特殊なフラグを用意している。これは**ビデオモードフラグ**（最初IBMは**ビデオ装置フラグ**と名付けた）と呼ばれるもので、絶対メモリの0463h番地にある。このフラグを0D4hにセットすると、システムがカラーモードで動作していることを示し、B8000hで始まるアドレスがディスプレイテキストメモリに使用される。モノクロモードだとフラグは0B4hにセットされ、B0000hで始まるアドレスが使用される。IBMの新しいビデオシステムもすべて、互換性を維持するために、この同じアドレスを使用しているが、実際には新たに追加されたビデオ情報はほかの場所に記憶されている場合もある。

BIOSは、このフラグ以外にはキャラクタマップディスプレイをサポートする機能を持っていない。キャラクタマップディスプレイを使用しても、プログラムにさらなるオーバーヘッドが課されることはないため、これで問題ない。実際、ソフトウェアは、簡単に画面メモリへ直接書き込むことができる。キャラクタマップモードが**ダイレクトライティング**とも呼ばれるゆえんである。

キャラクタボックス

テキストモードでは、ディスプレイメモリのアドレスに記憶されるコードは、画面に表示される文字の形には直接関与しない。別の場所にある文字パターンへの参照点を表わしているだけである。画面に表示される各キャラクタの実際のパターンは、**キャラクタROM**という特殊なROMチップに記憶されている。これはビデオ回路の一部で、ビデオ回路は、キャラクタを定義しているデータを手がかりに、そのキャラクタに対応したパターンを探す。キャラクタROMにあるビットパターンは、走査されて画面に送られ、最終的に画像として現れる。画面上のキャラクタはドットを並べて作られているが、これはテレタイプやドットマトリックスプリンタのテキスト出力に似ている。

IBMやほかのメーカーが準拠しているビデオ規格には数種類あり、それぞれで大きさの違うドット配列で構成されたキャラクタパターンを持つ。個々のキャラクタのドットが配列された枠組みは**キャラクタボックス**と呼ばれるが、これはクロスワードパズルのようなマトリックスで、幅や高さはドットを構成している数によって決まる。たとえば、ビデオグラフィックスアレイ（VGA）のテキスト画面は9×16のキャラクタボックスを使用しており、この場合、キャラクタ1つで横9ドット、縦16ドット分のスペースを画面上に占めることになる。別のディスプレイシステムになるとキャラクタボックスの大きさも違ってくる。モノクロームディスプレイアダプタ（MDA）のキャラクタボックスは9×14ドットで、カラーグラフィックスアダプタ（CGA）のキャラクタボックスは8×8ドット、また、拡張グラフィックスアダプタ（EGA）のキャラクタボックスは8×14ドットとなっている。

個々のキャラクタのパターンは、キャラクタボックス内をいっぱいに使う必要はない。たとえば、IBMのモノクロームディスプレイのテキストキャラクタは、行間が離れて見えるようにするために、キャラクタボックスの上下1列のドットは使用していない。

ビデオアトリビュート

IBM標準規格のキャラクタマップディスプレイでは、隣合っている文字をメモリ上で連続して保持していない。画面上のキャラクタの位置は、メモリ上では1つおきのバイトに対応しており、間にあるバイトは**アトリビュート**（属性）バイトに割り当てられている。偶数のバイトがキャラクタの情報を保存し、奇数のバイトがアトリビュートを保持しているわけだ。

アトリビュートバイトは、直前のメモリに記憶されているキャラクタの強調や色を定義している。モノクロとカラーのアトリビュートは、それぞれ異なるコードで表わされる。モノクロのキャラク

タには、ノーマル、強調（ほかのキャラクタより明るく表示する）、アンダーライン、反転（明暗を反対にする）のアトリビュートがあり、異なるアトリビュートを組み合わせて使うこともできる。ただし、強調反転はキャラクタを強調せずに背景を強調することになることに注意すること。モノクロディスプレイのアトリビュートを図12-1に示す。

図12-1　モノクロームテキストディスプレイのアトリビュート

カラーシステムのアトリビュートバイトには、キャラクタの色情報が2種類保存されている。そのバイトの最初の半分（デジタルコードの最上位から4ビット）には、キャラクタそのものの色がコード化されており、後の半分には（最下位から4ビット）は背景の色がコード化されている。カラーディスプレイのアトリビュートを図12-2に示す。

画面上のキャラクタにはそれぞれ2バイト必要なため、テキストを80×25のフルサイズ（計2,000文字）で表示するためには4,000バイトの容量が必要となる。IBMの基本となるモノクロビデオシステムでは、キャラクタ情報の保存用に16Kバイトが割り当てられている。また、基本的な（同時に基本的に時代遅れではあるが）カラーシステムには64Kバイトが確保されている。

ビデオページ

余った分のメモリが無駄にされるわけではない。**ビデオページ**と呼ばれる別々に分かれた画面を使えば、その分に複数の画面のテキストを同時に保存することができる。基本的なビデオシステムもこのビデオページをすばやく切り換えられるように設計されており、画面上の画像をほとんど瞬時に変えることができる。この瞬時の切り換えによって簡単なアニメーションを表示することも可能だ。

基本的なIBMカラーシステムは、40列でテキストを表示する特別なモードも持っている。これは、コンピュータ用モニタではなく、テレビをディスプレイに使用する場合を想定したものだ。テレビはコンピュータ用モニタほど鮮明度が高くなく、テレビに80列という細かさでキャラクタを表示すると、文字がにじんでつながって見えてしまうのである。列が半分になると保持する量も半分ですみ、ビデオテキストのページは2倍持つことができる。

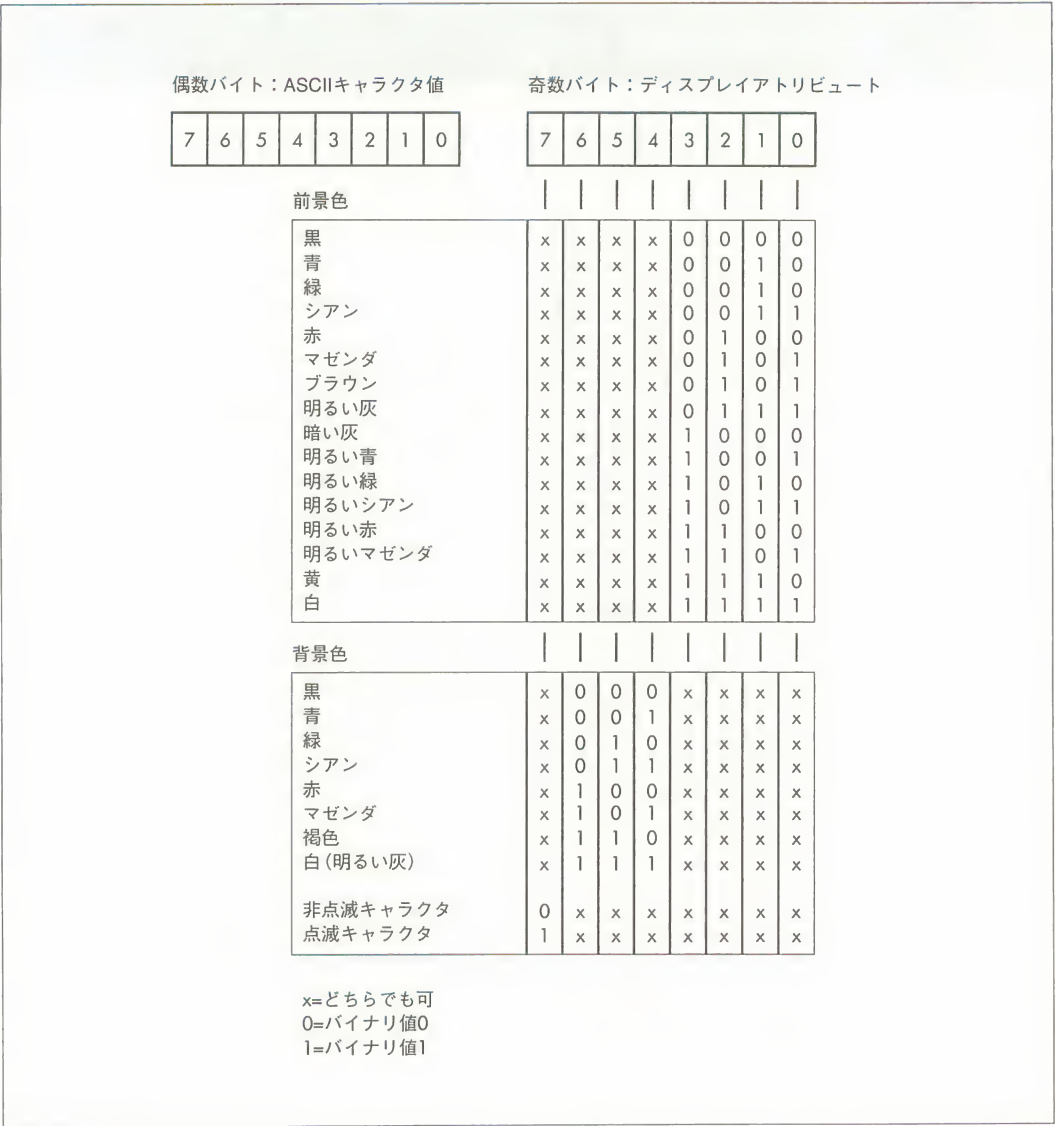



図 12-2　カラーテキストディスプレイのアトリビュート

ここ数年の間に、IBM はディスプレイシステムの質を向上させ、ビデオのためのメモリも増やしてきた。メモリが増えたおかげで、キャラクタベースのディスプレイでは新しいビデオモードによって、テキストの列（最高 43 列）やビデオページの数を増やすことができた。サードパーティーのビデオシステムには、1 画面で最高 60 行、132 列の表示を可能にするような独自のテキストモードを加えているものもある。

12.2　ブロックグラフィックス

キャラクタマップのテキストモードを使うと、実に簡単にグラフィックスが表示できる。これは、1バイトで256種類のキャラクタをコード化することができるのに対し、アルファベットとそのほかの記号を合わせても、表示できるキャラクタの種類が十分余るため、IBMが上位のバイトに特殊な文字を割り当てているからである*1。それらの特殊なキャラクタの多くは、キャラクタマトリックスを完全に塗り潰したり、部分的に塗り潰した様々なパターンで、グラフィックイメージをブロックから構成できるようになっている。

グラフィックスイメージは、画面上にこういったキャラクタブロックを配置して描く。追加されたキャラクタには、テキストエリアの周囲に境界線を引くことができる鈎型や十字型、また一重線や二重線などがある。グラフィックスイメージはキャラクタのブロックで構成されるため、こうして作られたグラフィックスを**ブロックグラフィックス**という。**表12-1**に、IBM標準のコンピュータシステムで使用されているブロックグラフィックキャラクタを示す。

IBMのディスプレイシステムは、ブロックグラフィックスをテキストとみなしており、普通のテキストキャラクタとまったく同様に扱っている。テキストのアトリビュートと同じものがどのブロックグラフィックスのキャラクタにもあり、テキストで表示可能な色、強調、反転といったアトリビュートを与えることができる。

また、ブロックグラフィックスの表示データはテキストモードとして扱われるため、ビデオメモリに格納することができる。つまり、ほかのテキストと同様に画面表示を高速に行えるのだ。ブロックグラフィックスは、事実上パーソナルコンピュータで最も高速のグラフィックスであるといえよう。

一方、ブロックグラフィックスの画像の質はパーソナルコンピュータで使用されるグラフィックスディスプレイシステムの中では最低だ。ブロックグラフィックスが描く画像はギザギザのこぶだらけで、文字どおりブロックの集合のようである。複雑な形や細部の細かいものを大きなキャラクタブロックで描くのは不可能である。ブロックグラフィックスの画像は精巧なものではなく、多くのアプリケーションにとって美的な魅力に欠けている。

しかし、ブロックグラフィックスは、カラー、モノクロを問わず、どのIBMマシンおよび互換機でも使用できる唯一のグラフィックスなのである。ブロックグラフィックスは最低限のグラフィックス標準であり、同時にIBMのディスプレイシステムの中では最も使われていない標準でもある。

*1　訳注：日本語モードのDOS（DOS/V）では、このコード領域には、カタカナなどの日本語固有の文字が割り当てられている。CHCPコマンド（旧IBM日本語DOS）や、CHEVコマンド（DOS/Vなど）で英語モードに切り替えると、グラフィック用のキャラクタに切り換わる。

表 12-1　IBM のブロックグラフィックキャラクタ

ASCII	キャラクタ	ASCII	キャラクタ
169	⌐	170	¬
176	░	177	▒
178	▓	179	│
180	┤	181	╡
182	╢	183	╖
184	╕	185	╣
186	║	187	╗
188	╝	189	╜
190	╛	191	┐
192	└	193	┴
194	┬	195	├
196	─	197	┼
198	╞	199	╟
200	╚	201	╔
202	╩	203	╦
204	╠	205	═
206	╬	207	╧
208	╨	209	╤
210	╥	211	╙
212	╘	213	╒
214	╓	215	╫
216	╪	217	┘
218	┌	219	█
220	▄	221	▌
222	▐	223	▀

12.3　ビットマップグラフィックス

ブロックグラフィックスの質を向上させるには、ブロックを小さくすればよい。小さなブロックなら細く画像を描くことができ、細部もはっきりする。つまり、ブロックが小さくなればなるほど、画像の質はよくなるのである。しかし、ブロックの最小の大きさはディスプレイシステムによって物理的に限定されている。画面上の画像を構成している最小単位はドットである。ディスプレイシステムで鮮明で質の高い画像を生み出すには、やはり画面上のドットのひとつひとつを個別に制御するしかない。

このドットは、よりリアルな画像を描くことができる〝原子〟のような最も小さなブロックであり、しばしば**ピクセル**と呼ばれる（picture element＝**画素**を短縮したもの）。〝ドット〟と〝ピクセル〟は同義語として使われる場合もあるが、厳密な定義は少し違う。システムがその性能の限界で動作しているときに、物理的に扱える限りの数のドットを画面に表示した場合、ドットとピクセルの数は等しい。しかし、多くの場合、1つのピクセルは画面上では複数のドットで構成されるため、システムはその性能の限界よりもやや劣る鮮明度で表示している。

画面に表示する情報を最も簡単に扱うには、各ピクセルにメモリを割り当てればよい。キャラクタマップディスプレイの各キャラクタに、2バイトずつが与えられているのと同じである。

IBMのシステムでは1ピクセルに相当するデータが、1ビット以上のメモリに格納されることから、このようなディスプレイシステムを**ビットマップグラフィックス**と呼んでいる。また、画面上の各ピクセルまたは各位置には、メモリの別々のアドレスが割り当てられるため、このビデオディスプレイの制御方式を**オールポイントアドレッサブルグラフィックスディスプレイ**（APA）と呼んでいる。

ビットマップグラフィックスシステムでは、画面上の画像を電気的に変えてディスプレイメモリに保存する。これは実際に目に映る画像のタイムスライスである。パーソナルコンピュータ上で走っているソフトウェアは、画面の画像を更新するために、つねに新しいデータをディスプレイメモリに送っている。ディスプレイメモリは変更したフレームを一時的に保持するもので、ここに保持されているデータは、完全な画像フレームとして1秒に何十回も読み出されている。このようにディスプレイメモリは**フレームバッファ**としての役割も果たしているのだ。

ビットマップグラフィックスはブロックグラフィックスよりもシャープな画像を作ることができる。ピクセルの数が多くなれば画像は細密になる。画面上のドット数やピクセルの最大数は、同じ画面に表示されるキャラクタの数の実に64倍から126倍にもなる。

しかし、ビットマップグラフィックスにもメモリのやりくりという難点がある。画面の各ドットに1バイトないし2バイトを割り当てていくと、メモリは膨大な大きさになってしまう。IBMの最も質の低いグラフィックスディスプレイでさえ、各ドットに1バイトずつ割り当てていくと128Kバイトのメモリが必要になる。現在の標準から見れば、128Kバイトのグラフィックスメモリでも十分とはいえないが、IBMが最初にPCにグラフィックスを装備したときは、システムの方に余裕を持たせるため、グラフィックス情報用のRAMは16Kバイトしかなかった。

幸いにも、単純なディスプレイなら1ドットに1バイト使う必要はない。ピクセル1つだけではパターンは作れないため、ピクセルに必要なコードは、表示をする、輝度を高くする、見えないほど暗くする、これだけである。最も単純なものになると、ピクセルのコードには、表示するかしないかの1ビットしか必要ない。これならば、ビデオディスプレイ上に描かれる画像をマップするのに、メモリの各ビットを当てることができる。これからわかるように、16Kバイトという数字は、横640ドット、縦200ドット（IBMディスプレイ

の最低レベル）という画面上の各ドットをコントロールするための、必要最小限のメモリ容量なのである。現在の640×480ピクセルという解像度の標準ディスプレイでは、フル画面表示に38,400バイトが必要になるが、最小単位である64Kビットのメモリチップのバンクを利用して、64Kバイト分の画面メモリのブロックを確保すれば十分である。

解像度

画像がどれだけ鮮明であるかということを示す数字を**解像度**(resolution)という。解像度は、画面がどれだけ数のピクセルに解像されるかを表わしたものだ。画像データ自体は電気的なものであり、その質はそれが表示される画面とはまったく無関係のものであるため、物理的な測定値から解像度を算出することはできない。画像のピクセル数は、それを表示する画面の大きさによって変わるものではない。解像度は1インチ当たりのドット数ではなく、ピクセル数で表される。たとえば、標準的なVGAディスプレイのネイティブグラフィックスモードの解像度は横640ピクセル、縦480ピクセルである(VGAシステムの特性により、テキストとグラフィックスの解像度は違う。VGAのテキストモードの解像度は720×400ピクセル)。

グラフィックスのアトリビュート

このシステムに欠けているのは、コントラストと色の表現である。どのビットもすべて同じように扱われるため、それに対応するピクセルも同じようにオンオフでしか認識されない。そのため、変化も陰影もない単色画しか描けず、本質的には線画の画像と同じようなものしかできない。これで十分な場合もあるが(たとえば紙にインクで描いたように表示される図表やグラフなど)、やはり色とコントラストが加わわったほうが画像にインパクトが出る。

ビットマップイメージに色を加える方法は、キャラクタベースのディスプレイに色を加える場合とほとんど変わらない。つまりアトリビュートを与え、その各ビットのアトリビュート情報を保持するためにメモリを増やせばいいのである。しかし、ビットマップシステムは、キャラクタベースモードとは若干違った仕組みを持っている。1ビット用に割り当てられたメモリはすべて、そのビットを表わすために使用されるのである。各画素は基本的には何の特徴もないただのドットであり、キャラクタやパターンを識別する際に必要だった〝1バイト〟という単位は、各画素には必要ない。

1ピクセルに1ビットを割り当てることにより、ピクセルのオンオフ、または黒か白というアトリビュートが保持され、2値のデジタルシステムのような2色システムのグラフィックスが実現されるのである。

カラープレーン

ピクセルにもう1つドットを加えれば、表示可能な色数は2倍になる(コンピュータグラフィックスでいう〝色〟には、濃淡や明暗のグラデーションも含まれる)。同様に、それぞれのピクセルに割り当てられるビットが1つ増えるごとに、可能な色数も2倍になる。つまり、nビットの場合は2^n色となるのである。

コンピュータグラフィックスでは、色の情報をコード化するために割り当てられたビットの数を、**カラープレーン**の数で表わすことがある。カラープレーンという用語はディスプレイメモリの構成に関係がある。グラフィックスイメージのメモリマップは、世界地図のメルカトル図法を思い浮かべるとわかりやすい。緯線と経線は様々な場所に散らばるビットのようなもので、画像ではそれはピクセルに当たる。そして、ピクセルに割り当てられた追加ビットは、3つ目の次元を構成する。つまり、地図の上に層を重ねていくようなものであり、この一連のフラットプレーンの中には、色の情報が保存されているわけだ。

カラープレーンはメモリバンクと似てはいるが、まったく同じではない。たとえば、IBMの標準では、ビデオ用に予約されている限られたアドレス領域に、より多くのメモリをマップするために、〝バンク切り替え〟の技術を使って、ホストマイクロプロセッサのアドレス範囲内でビデオメモリをアクセスするIBMビデオアダプタもある。ビデオモードの中には、これらのバンクが、ビデオア

ダプタが使用するカラープレーンに正確に対応しているものもある。また画面メモリの各データのビットを使ってビデオ情報のプレーンをバンクに保存し、個々の色を表示するモードもある。

色もしくはカラープレーンが多ければ多いほど、ピクセルのコード用にさらにメモリ容量が必要になる。画像で多くの色を使うと、目に見える画像の質は向上し、さらにリアルなものになる。美しい画像を望むなら、できるだけ各ピクセルのドットに対する情報を多くしたほうがいい。しかし、あまり多くビデオメモリを確保しても仕方がない。所詮、人間の目は、色を識別する能力が限られているし、それよりもさらに、カラーモニタが表示できる色数が限られているのだ。したがって、必要十分なだけのメモリさえピクセルに割り当てられていれば、それ以上改良しても、見た目が飛躍的に良くなるということはない。

実際の色の限度は色の深度が24で、この場合システムが保存でき、また理論的に表示できる色数は16,777,216色になる。この深度のディスプレイシステムを**24ビットカラー**または**トゥルーカラー**(true color)システムという。

各ピクセルごとに、加法混色の3原色(赤、緑、青)に1バイトずつ割り当てられている点で、トゥルーカラーシステムは都合がいい。トゥルーカラーはかなりリアルな画像を作ることができるが、解像度が高いシステムでは、むしろ処理に厳しいオーバーヘッドを強いてしまうのが難点である。

トゥルーカラーはメモリの無駄使いであり、今のプロセッサの能力では、可能な色をすべて表示することさえできないという見方もある。モニタのほとんどは、18ビットディスプレイシステムに相当する26万2144色を表示するのがせいぜいである。ビデオディスプレイを一般的な用途の範囲内で使うのなら、256色もしくは32,768色で十分なことが多い。現在使われているディスプレイの標準は、このどちらの色数(およびその中間の色数)もカバーしている。

カラーグラフィックス画面を表示するのに、どれくらいメモリが必要になるかを計算するのは簡単である。画面のピクセル数(つまり解像度)とそのピクセルの深度を掛け、ビットをバイトの単位に変換するために、それを8で割ればよい。たとえば、VGAグラフィックスでは、画面のピクセル数は307,200であるから(これは単純に640と480を掛けた値)、それに色深度4(16色表示が可能)を掛けると、必要最小限のメモリは1,228,800ビットになる。それを8で割ると153,600バイトになる。この容量が確保できるような増設メモリの最小単位は256Kバイトであるから、VGAの16色画像を保存するためには少なくとも256KバイトのRAMがあればよいということになる。

ダイレクトマッピング

画面メモリに記憶されている値が、画面上に表示される色を直接表わしている場合(前述の例のように)、「この色は**ダイレクトマッピング**されている」という。ダイレクトマッピングによって、ピクセルにどのような色でも付けることができるが、実際に画像で使われる色はずっと少ない。VGAの画面上には、307,200ピクセルしかないので、すべての色を一度に表示することはできないからである。しかし、表示できる色数が限られていても(画面が必要な容量を制限してしまう)、うまく色を取捨選択して表示する色に配慮すれば、驚くほどリアルな画像を表示することができる。当然この場合に問題になるのは、1つの画像に対して最適な色の選択が、ほかの画像にも通用するとは限らないということである。たとえば、雪嵐の中にホッキョクグマがいる図はほとんど白ばかりだし、星明かりの届かない夜にほら穴にツキノワグマがいる図は真っ黒に近い。また、過去のある種の名作映画のスチール写真なら、赤系の色が必要になるだろう。

保存されている色は、**色参照テーブル**(CLUT＝Color Look-Up Table)を使って実際の画像に展開される。CLUTは、〝スペクトルマップ〟の役割を果たしているわけだ。保存できる容量に限りがあるため、色の選択肢の全範囲(**パレット**)の中から、どの色がピクセルに当てられるのかを示す目印、ポインタが必要である。ポインタの数によって同時に画面に表示できる色数が決まる。パレットの色数はポインタのサイズによって制限される。画面上の各ピクセルには、どのポインタを使用す

るのかを示すための容量しか必要ない。たとえば、各ピクセルに1バイトを割り当てているVGAシステムは、同時に256色を表示可能にする256のポインタでCLUTにアクセスできるわけだ。各ポインタには18ビットの容量があれば、262,144色のパレットにアクセスできることになる。

CLUTは、メモリ容量と処理速度の両方を補うものであるが、技術の進歩と共にその有用性もなくなりつつある。高性能で容量の大きいメモリとマイクロプロセッサが安価なものになれば、CLUTが使用されることはまれになっていくだろう。少なくとも次の新しいディスプレイ標準では必要なくなるかもしれない。しかし、現在のVGAの発展ぶりを見る限りでは、CULTはしばらくは必要なようである。

ラスタグラフィックスとベクトルグラフィックス

ビデオディスプレイシステムでは、画面は線の並びで構成されており、1秒間に何十回も連続して走査されている。これを**ラスタディスプレイ**という。このディスプレイは効率が良いため、PCやPS／2、また現在のテレビやビデオシステムに広く採用されてきたが、これがコンピュータの画像をモニタに表示する唯一の方法というわけではない。

それと対極に位置するのが**ベクトルグラフィックス**である。このグラフィックスでは定期的な走査は行われず、代わりに水平および垂直の偏向ヨークを操作する回路を正確に制御している。ベクトルグラフィックスは走査線をたどるのではなく、絵筆を動かすのと同じような方法で図を描いていくのだ。画面を明るくするには、つねに図をなぞり続けなければならない。この描画法がベクトルグラフィックスと呼ばれるのは、モニタを制御する信号がベクトルの連続としてCRT内の電子ビームを動かすからである。また、この種のディスプレイシステムは、**ストローカー**とも呼ばれるが、これは描画がストローク(筆づかい)に似ているからである。あまりパーソナルコンピュータでは聞かれない呼び名であるが、高価なワークステーションではときおり使われている。

12.4 ビデオコントローラ

画像を画面メモリにロードするのは、マイクロプロセッサあるいは専用ビデオ回路(それ自身がマイクロプロセッサを備えている場合もある)である。単純なディスプレイシステムでは、ソフトウェアが特定のメモリにデータを移すように直接命令するか、あるいはプログラムがBIOSを呼び出して細部の処理をまかせ、マイクロプロセッサに画面メモリの特定のロケーションに値をロードするように命令するかの、どちらかの方法を使って、マイクロプロセッサがすべての処理を行う。複雑なディスプレイシステムになると、マイクロプロセッサはコードをビデオプロセッサに送ってデータを直接画面メモリに移動させるか、画像を生成してしてからメモリに移動させるかのいずれかの方法をとる。ただしどちらの場合も、画像データが最終的に行き着くのは、パーソナルコンピュータの画面メモリであることには変わりはない。

メモリからデータを取り出してモニタに送る段階になると、処理ははるかに複雑になってくる。画像は画面メモリ内では比較的静的な状態にあるのだが、モニタに送られると、ブラウン管内で高速で動作している電子ビームを制御する信号に変わらなければならない。この変換は考えるほど単純にはいかない。メモリマップと画面上の画像は似ているといっても同じではない。ビデオ情報のデータは、8個以上のメモリチップ内に散らばっているため、それらをまとめてモニタへ送らなければならず、さらにモニタ自身がコンピュータの制御下に置かれる必要がある。

それを行うのがビデオコントローラである。一

般的には特殊なVLSIチップで、メモリのデータをビデオに移すという仕事のためだけに特別に設計されている。IBMはこれまで多くのビデオコントローラを採用しており、互換機メーカーは自社の設計でそれを複製している。

IBMの最初のカラーおよびモノクロアダプタは、市販のチップ「6845」に準拠しており、これを使ってディスプレイを制御していたが、その後は、自社で設計、製造したチップに切り替えている。

ブラウン管を使っているデスクトップマシン用のビデオコントローラの基本的な役割は、ディスプレイメモリのデータをシリアルデータにすることである。ブラウン管が**CRT**（Cathode Ray Tubes）と呼ばれるのは、陰極（電子エミッタ）から、画面に向かって電子ビームを放射して蛍光体を発光させる技術を使用しているからである。このCRTに画像を表示させるために、メモリマップに2次元形式（水平と垂直）で配置されている情報は、1次元の長い直列のパルスに変換されなければならない。

変換の作業は単純ではあるが、精密に行われなければならない。メモリマップのアドレスは、1回に1列ずつ順々に読み出されるが、1次元のビデオ情報がモニタに間違って認識されないようにするために、ビデオコントローラは、ホストと同期したデータストリームと、コントロール信号をミックスしなければならない。

ディスプレイシステムがCRTベースではない場合（たとえば大抵のラップトップパソコンで採用されている、フラットパネルLCDなど）、表示されるデータがシリアル化されているとは限らないが、いずれにしてもデータはディスプレイが扱えるフォーマットで処理されなければならない。フラットパネルディスプレイは、ディスプレイメモリとまったく同じ2次元のアドレスが割り当てられているが、データが狭い電気的なパスを通らなければならない場合もある。その場合、ビデオコントローラ回路は、画面メモリのデータを、転送できるような形に変え、それがディスプレイパネルに着いた時点で元に戻さなければならない。

リトレース

CRTをベースにしたシステムには特別な信号が必要である。画像を目に見えるような形にするには、CRTの電子ビームが画面の表面上のほぼ水平のラインをトレースしなければならない。そして1本のラインをトレースし終わったら、そぐに最初の位置に戻り、今度はトレースし終わったラインのすぐ下のラインをトレースする。このすばやく戻る動きを**水平リトレース**という。すばやいが瞬時になされるわけではないのは、電気回路特有の慣性があるからである。そのため、データのスムーズな流れも、ディスプレイラインの端にきたときには短い間だけ中断させなければならない。そうしないと、ビデオ情報はリトレースしている間に失われてしまう。ビデオコントローラは、画像がシリアルデータになっているということを考慮してリトレースを行なう必要がある。

また、電子ビームが画面の底にきたときには、別の種類のリトレースを行う必要がある。**垂直リトレース**である。電子ビームはできる限りすばやく元の位置に戻ろうとするので、ビデオコントローラはリトレース中はデータの流れを一時的に止めなければならない。

ブランキング

リトレースの最中、電子銃から電子ビームが放射されたままになっていると、次のライン（あるいはフレーム）の最初の位置に戻るときに、明るい線を描きながら画面を斜めに渡ってしまう。この不必要な斜線が表示されないようにするため、リトレースの間だけでなく、画面の両サイドでの短いインターバルの間も、ビームが安定するまでの期間中は、ビームをオフにしなければならない。どのようなレベルのプログラミングでも、ビームをオンにできないこのインターバルを、**ブランキング**という。この間、電子ビームは空白以外は何も画面に描くことができない。

コンピュータのモニタは、画面上を完全にデータで埋め尽くすということはしない。画面の縁に暗い部分を残すように画像を中央に集め（あるいはそのように努めて）、画面の端のほうに起こりやすいゆがみを最小限に抑えているのだ。この画面の

暗い保護エリアを作るため、電子ビームは、各画像ラインのデータが表示される前後のわずかな間、黒い画像を表示するレベルに保たれる。この短いインターバルを、信号の**フロントポーチ**、**バックポーチ**という。信号を調べてみると分かるのだが、ブランキングの間は信号は降下してブランキング状態になり、続いてブランキングとデータ部の間にポーチを作るために、中間の高さである（**ブラックレベル**という）まで立ち上がる。ブラックレベル信号は、棚やポーチのようなものと考えたらわかりやすいだろう。

垂直インターバル

垂直リトレース中のブランキング期間を、**垂直インターバル**という。垂直インターバルは、実際には広くて黒い水平の帯である。これはテレビ画面やコンピュータモニタの画像が縦方向に流れてしまうような、垂直同期調節の調整が必要なときに、イメージフレームの間に見ることができる。

同期信号

モニタの電子ビームは、磁界の組み合わせによって画面上を走査する。1つの磁界がビームを水平に動かし、別の磁界が垂直に動かすのだ。電子ビームの走査を制御する2組の偏向コイルにモニタの回路から徐々に電圧が加えられていく。このコイルは電磁石で、電圧を上げることによってコイルの磁力は増し、ビームを増やしたり偏向させたりできるのである。ラインの走査が終わると、電子ビームを水平に走査させていた磁界が突然オフになり、ビームは画面の端の最初の位置に戻る。同様に、ビームが画面の底にきたときには、垂直の走査をコントロールしていた磁界がオフになり、電子ビームは画面の上から下まで隙間なく埋まったジグザグのパスを動くことになる。

2種類の走査が根本的に違う点は、1回の垂直走査の間に水平走査が何百回も行われることである。この水平走査が行われる速さを、ディスプレイシステムの**水平周波数**といい、垂直走査が行われる速さを、**垂直周波数**または**フレームレート**という。電子ビームが画面の下まで走査するたびに、完全な画像フレームが1つできあがることからこのように呼ばれている。

モニタの走査周波数を作り出す電子部品は、モニタの内部にある。ただし、信号自体はコンピュータから来るデータストリームと同期しなければならない。同期していないと、キャラクタは画面上の正しい位置に表示されず、秩序を保っていた画面の画像は、今日のピサの斜塔やヘリオスの胸像のような姿になってしまうだろう。

モニタを同期させるために、ビデオコントローラは特定の同期信号を送信する。ビデオコントローラは、各ラインがディスプレイに送られる前に水平同期信号を送信し、各フレームが送られる前には垂直同期信号を送信する。

デジタルディスプレイシステムとアナログディスプレイシステム

ディスプレイシステムにおいては、パーソナルコンピュータ本体からモニタへビデオ情報を送る信号の形式に、2つの種類がある。IBMの古いディスプレイ規格であるMDA、CGA、EGAはすべて**デジタル信号**を使用しており、この信号はしばしば**TTL**（**トランジスタートランジスタロジック**の略で、回路の内部で使用される電子部品の一種）と呼ばる。一方、これらよりあとの、VGAなどの標準規格のディスプレイは、**アナログ信号**を使っている。2つの信号の違いは、カラー情報をコード化する方法と、コード化できる色の数である。

デジタル信号は、コンピュータの2進法の思考のように、それぞれ2つの状態のどちらか一方を表わし、情報はいくつかの信号を組み合わせたパターンで送られる。デジタルモニタ信号は、モニタのために特別に作られたパラレルコードを使用する。CGA規格では、デジタルビデオコードには4つの信号があり、うち3つはそれぞれ3原色に対応しており、各色に割り当てられている電子銃のオンオフを決める。残りの1つは、3つの信号すべての輝度を同時に増加させる信号である。このデジタル信号コードは、4つの信号の名前（red、green、blue、intensity）の頭文字をとってRGBIと呼ばれる。

4ビットシステムなら16種類を表わすことができるので、RGBI信号は16色をコード化すること

ができる。EGAシステムは6ビットのコードと、3原色を表わす信号と、各色に割り当てられた輝度信号を使用しており、6ビットコードによって64種類の色を伝送することができる。MDAシステムは1つのビデオ信号しか使用していないが、この信号には黒、中輝度、高輝度の3つに対応したステートがある。

アナログ信号は、どんな値でもとることができる。したがって、事実上コード化できる色数は、モニタの蛍光体の表示能力と同じく無限である。この信号が**アナログ**と呼ばれるのは、電気の強度が、CRT内部の電子ビームやブラウン管表面の画像の輝度と相似関係にあるからである。アナログ信号は用途が広く、VGA以降から現在までの新しいビデオ規格はすべてこれを採用している。

デジタルーアナログコンバータ

パーソナルコンピュータは、内部的にはデジタル回路のデジタル信号しか使用しない。このデジタルコードを現在のアナログのモニタで使えるようにするためには、アナログ信号に変換する必要があるが、ディスプレイアダプタは**デジタルーアナログコンバータ**という特別な集積回路を利用してこれを行う。これは略して**DAC**と呼ばれることも多いが、この同じチップが〝**RAMDAC**〞という名前で呼ばれることもある。この場合は**ランダムアクセスメモリーデジタルーアナログコンバータ**を略したものである。

DACは、変換するデジタルコードのデジタルビットの数によって分類される。たとえば、「8ビットDACコンバータ」は、8ビットデジタルパターンを256のアナログレベルにコード化する。カラーシステムでは、3原色あるいは3チャネルにそれぞれ別のDACが必要で、全部で3つになる。各DACのビット数を増やせば、システムが表示可能な色のビットプレーンがそれだけ増えることになる。この数はすなわちパレットの数である。画面に一度に表示できる色の数は、ディスプレイメモリの容量によって決まるが、十分な容量さえあれば、3つの8ビットDACで24ビットのトゥルーカラーシステムを実現することが可能である。

ほとんどのディスプレイシステムで、すべてのDACは同じように作られている。つまり、どのDACもビット数が同じである。たとえばVGAシステムでは、3つの6ビットDACがあり、262,144色のパレットを備えた18ビットシステムを作り出している。しかし、1つのチャネルがほかのチャネルとは別格に扱われる場合がある。たとえばXGAシステムの「ダイレクトカラーモード」では、2つの5ビットカラーチャネルと1つの6ビットチャネルを使用するが、トータルの16ビットはちょうど2バイトの容量になり、65,536色の表示を担当する。特別なビットが緑のチャネルに割り当てられているのは、人間の目はスペクトルの緑の部分の微妙な輝度に最も敏感だからである。

VGAで使われている標準の18ビットDACを超えようと、2、3のチップメーカーが、DACの長所をさらに伸ばすような製品の開発に取り組んできた。「カラーエッジグラフィック(CEG)システム」は、Edsun Laboratories(現在はAnalog Devicesの一部門になっている)が開発したもので、必要な容量を変えずにVGAのようなシステムの表示可能な色数を増やすことに成功した。Sierra Semiconductorの「HiColor RAMDAC」は、ディスプレイアダプタの同時表示可能な色数を、256色から32,768色もしくは65,536色に増やしている。

CEGチップは、VGAのカラーコードを使用する。上位32のカラーコードは、色そのものではなく、隣接するピクセルによる色の合成用に予約されている。これによって、きわめてスムーズな色のグラデーションが可能になっている。鮮明度のロスを最小限に抑えながら色の混ぜ合わせが徐々に行われるのである。可能な色の組み合わせは100万通り以上になる。しかしEdsunのCEGシステムでは、チップの色合成用の特別コードをプログラムが把握している必要があるため、これがマイナス要素となって、CEGシステムを利用しているアプリケーションはほとんどないという結果になっている。

HiColorチップは、画像用のメモリ容量に、より多くのビットを割り当てる簡単な方法を採用している。VGAが最大8ビットであるのに対し、HiColorチップは最大16ビットまでのコードを記憶することができる。最初のHiColorチップと

改良された最近の製品(「SC11481」、「SC11486」、「SC11488」)は、各原色に5ビットずつが割り当てられたTruVisionの「TARGAボード」の標準規格に準拠している。ほかのHiColorチップ(「SC11485」、「SC11487」、「SC11489」)は、IBMのXGAの16ビットシステムで使うことができる。

これらの製品は、放っておいても自動的にプログラムやファイルを利用して新たな色を作り出してくれるわけではない。これらの製品の恩恵を受けるためには、アプリケーションが特別にサポートしなければならないのである。

12.5 バスの接続

パーソナルコンピュータのビデオシステムは、ほかの回路と接続する必要がある。そして、ほとんどのディスプレイシステムでは、その接続は密接なものだ。マイクロプロセッサはこの接続に介入して、データを直接画面メモリに書き込まなければならない。これは、画面メモリは、マイクロプロセッサのアドレスの範囲内になければならないということを意味する。高性能ビデオシステム(通常、ビデオシステム自身がプロセッサを持つものをいう)は、メインのマイクロプロセッサの範囲外にメモリを置くため、MDA、VGA、XGAといった標準ディスプレイシステムの信号を表示することはできない。

画面メモリとマイクロプロセッサの論理的な接続は、**I/Oバス**(本質的にはパーソナルコンピュータの拡張バスと同じ)または**ローカルバス**の2種類の電気接続によって行われる。後者を使うと直接マイクロプロセッサと接続できる。この2種類の接続の機能上の違いは速度である。現在のパーソナルコンピュータでは、マイクロプロセッサのローカルバスはI/Oバスの数倍の高速で動作する。表面的にはこの強みでローカルバスの接続のほうが有効であるように見えるが、実際のアプリケーションになると、ローカルバスはいくぶん速いという程度で、理論上可能なスピードを実現するには至っていない。

I/Oバス

I/Oバスの歴史は古い。初期のパーソナルコンピュータは、普通の拡張スロットに搭載された拡張ボード上にビデオ回路を置いていたが、それは現実的な制約という理由からであった。つまり、必要な回路がマザーボードに載りきらなかったために、スロットに置かざるを得なかったのである。しかし、スロットにメモリを装着したことで、ビデオ設計者やユーザーにとっては、選択の幅が広がる結果となった。ビデオアダプタは1種類の設計でどの機種にも適合したため、メーカーにとっては市場が大きくなり、そしてユーザーは数多くの製品の中から選べるようになった。ディスプレイシステムのアップグレードも、古いボードを取り出して新しいものを差し込むだけで、簡単に行うことができた。

16ビットのISA拡張バスを搭載したATマシンが登場すると、幅の広いバスの利点が明かになってきた。16ビットインターフェイスを備えたディスプレイアダプタボードは、8ビットコネクタの付いたボードよりも実質上速くなったのである。バス幅が2倍になった16ビットアダプタは、ディスプレイのデータを高速で扱うことができ、予想どおり性能を2倍にすることに成功した。

1987年頃、パーソナルコンピュータメーカー各社(最大手のCompaqとIBMも含む)は、ビデオ回路をプラグで拡張スロットに接続する方法を見直し始めた。集積化がますます進んでできたマザーボードのスペースの余裕を、ディスプレイ回路に利用できないかと考えたのである。また、標準がいくつも乱立して、真のビデオ標準規格の地位を争っていたが、ついにVGAがその役を手に入れた。ビデオがもはや贅沢品ではなく、ほとんどすべ

てのパーソナルコンピュータのビデオシステムにVGA標準が採用されるようになったため、ほかのメーカーはディスプレイアダプタ回路をマザーボード上に移したのである。

ディスプレイアダプタ回路の物理的な位置は変わったが、その論理的接続に何ら変化はなかった。ビデオ回路は相変わらず拡張バス上にあるかのようにパーソナルコンピュータ本体に接続されていたし、マイクロプロセッサは古い規格のアドレスを通してビデオメモリにアクセスしていた。マザーボードベースになって、高速なマイクロプロセッサがすぐ隣にあるというのに、ビデオ回路は依然としてI/Oバスに接続していたのだ。

ビデオ回路がマザーボードに組み込まれるようになってからも、システム設計者にとってI/Oバス接続は重要な利点を持っている。一般的にみると、今のビデオ制御回路は可能な速度に限界がある。ビデオチップの多くが、今日の高速なマイクロプロセッサのスピードでは動作できないのである。その際、I/Oバスは、マザーボード上のバス制御回路によって、ビデオコントローラが許容できる程度にまで速度を下げられる。また、ビデオ回路は、システムアドレスの中に置いてアクセスする必要もあるが、I/Oバスには必要なアドレス信号があるので、マザーボードにビデオを移植するにあたって、特別に何かを追加する必要はない。

I/Oバスへの接続では、マザーボードのビデオ回路は拡張スロットに搭載されているようにみなされる。マザーボードビデオシステム(IBM PS/2の初期モデルなど)は、拡張バスのビデオボードの性能を維持するために、マザーボードの8ビットI/Oバス接続を使用しなければならず、そのため速度が遅くなってしまうものもある。実際、I/Oバスを介して接続されたマザーボードビデオの利点は、低コストであることと、ディスプレイアダプタを分ける必要がないことから拡張スロットを1つ節約できるという点だけである。

1981～1991年という長い間、I/Oバスの接続はビデオにとって何ら不足のないものであった。それは古いアプリケーションには、ビデオのスピードは必要とされなかったからである。たとえば、初期のパーソナルコンピュータでビデオが問題にならなかったのは、アプリケーションのほとんどがキャラクタマップを使っていたからだ。フル画面の情報でも、1キャラクタあたり2バイト(1バイトはASCIIコードに変換され、もう1バイトは色や強調などのアトリビュートを保持していた)を使う、80×25列のキャラクタの集まりにすぎなかったのである。この場合、フル画面のテキストデータでも4Kバイトにしかならず、転送にもたいして時間がかからなかった。初期のPCバスでさえ、バス幅1バイト、速度4.77MHzという条件の下で、1/500秒もかからなかったはずだ。

近年、グラフィックスアプリケーションの重要性が増すに従って、ビデオ転送の必要性も劇的に高まってきた。現在の最大公約数的な規格であるVGAの16色グラフィックスの画面は、163,200バイト分のデータを表示できる。解像度1024×768のトゥルーカラー(24ビット)表示になると、画面1枚分のデータは約2.3Mバイトにまで増える。システムにそれ以上のオーバーヘッドがないとしても、PCバスを経由してそのデータを転送しようとしたらまるまる1秒かかってしまうだろう。実際、このような転送は、マイクロプロセッサを介するよりもはるかに時間がかかる。メモリリフレッシュや巧みなバックグランド処理(タイマ割り込みのサービスなど)、画面へ送る画像データの計算などに時間をとらなければならないからである。この例でI/Oバスの接続を使うと、1画面を更新するのに何秒もかかってしまうのは明らかであり、とても許容できる範囲とはいえない。

ローカルバス

ローカルバスビデオシステムは、マイクロプロセッサとのもっと直接的な接続を利用するもので、マイクロプロセッサの近くにありマイクロプロセッサの速度で動作するアドレス回路を使用する。こういった信号は、それにアクセスするように特別に設計された新しいチップセットのおかげで利用できるようになった。ビデオ回路自体は、より高速なスピードに追いつくようにより早く応答するか、あるいは、定格以上に速くならないようにウェイトステートをはさまなければならない。ビデオ回路を接続するローカルバス自身はマザーボード

上に乗ることができるし、あるいは、「VLバス」のような別の拡張バスに拡張することもできる。従来のI／Oバスのビデオ接続と同様に、ローカルバスビデオ回路の物理的な位置が、動作や速度に影響を与えることはない。

ローカルバスビデオは、マイクロプロセッサとの接続に特別なインターフェイスが必要なため、ほかのディスプレイシステムをアップグレードするときのように、今あるマシンに付け加えるということはできない。ローカルバスを使えるようにするにはコストがかさむため、ローカルバスが組み込まれた新しいマシンを買うか、ローカルバスが組み込まれたマザーボードを買って、今あるマシンをアップグレードしたほうがよい。

〝ローカルバス〟という言葉自体は、技術を表わしているのであって、搭載方法を表わしているのではない。ローカルバスのディスプレイシステムを搭載したパーソナルコンピュータが最初に世に出たときは混乱しており、そこから標準規格は生まれてこなかったため、パーソナルコンピュータの設計者たちは、それぞれ独自のローカルバス接続を作っていた。そして、現在のアプリケーションと互換性を持たせるために、VGAと同じメモリのアドレスや、VGA用のビデオコントローラのレジスタを使って、VGAの接続を模倣した。パーソナルコンピュータの設計者たちが、VGAの拡張ボードと同程度の互換性を維持していたあいだは、マザーボードのローカルバス接続の細かい部分は、単なるパーソナルコンピュータユーザーにとっては無関係のものだった。ボードはVGAシステムとそっくり同じように動作し、唯一の違いはわずかに速くなることだけだ。

1992年6月、Intel Corporationはローカルバス規格を発表し、それを〝Peripheral Component Interconnect（PCI）〟と呼んだ。これによってローカルバスのビデオシステムが、Intelのマイクロプロセッサとどう接続されるべきかという基本ルールが確立された。長い間待ち続けられたものであったにもかかわらず、このPCI規格はこれからパーソナルコンピュータを買おうというユーザーにとって、それほど意義のあるものとはいえなかった。マザーボード上で使われるローカルバス規格は、ユーザーから見れば、牛乳のパックがどんな種類の厚紙で作られているのか、といった程度の重要性しかない。ローカルバスが有効に動いて特に危険でも引き起こさない限り、その役目を果たさせるのに何の配慮も必要ない。つまり、普通のVGAシステムをエミュレートしているマザーボードベースのローカルバスが動いている限り、それがPCI規格に従っているかどうかは問題にはならないのだ。しかし、パーソナルコンピュータメーカー側は、PCI規格の恩恵を享受している。PCIは製品を正しく動かしてくれるし、異なるシステム設計のマシン間でも、すぐにローカルバスの技術を移植できるからである。

マザーボードベースのローカルバスシステムには、避けることのできない欠点がある。アップグレードのためのオプションの種類を制限してしまうということである。マザーボードのディスプレイシステムの解像度や色表示能力をさらに高めようとすると、スロットに拡張ボードを差し込むことになり、ローカルバスの利点をあきらめなければならない。ローカルバス接続がない状態より悪くなることはないにしても、ローカルバスから得ていた性能は失われてしまう。

このローカルバスの欠点を克服する確実な方法の1つは、ローカルバスビデオシステムを、マザーボードからプラグ接続式のアダプタへ変えることである。そうすれば、I／Oバスシステムのように、拡張カードを取り替えることで、簡単にローカルバスのビデオシステムをアップグレードすることができる。もちろん、標準のISA、EISA、マイクロチャネルバスのスロットは使えない。こういったスロットには、I／Oバス接続しか与えられていないからである。

認められた規格がない状態では、特殊なローカルバススロットがマザーボードベースのシステムに優る有効性はわずかなものでしかない。スロットはアップグレードを可能にするものだが、スロットが専用のもになると、アップグレードの選択の幅を制限することになる。そのスロットに適合する製品しか接続できないし、そういう製品はそのパーソナルコンピュータを製造したメーカーからしか提供されないからである。

標準規格の設定は、ローカルバスが成功をおさめる上での鍵である。それは製造メーカーと、長年にわたってパーソナルコンピュータに投資してきたユーザーの双方にとっての成功を意味する。スロットとビデオボードが業界公認の標準に従って製造されれば、ユーザーは数多い種類の中から製品を選択することができるし、アップグレードの可能性も約束される。ローカルバスコネクタの規格を作ろうという動きは、まずOPTiのローカルバスから始まったのだが、ビデオ業界はVESAのローカルバス規格とコネクタ仕様のほうへ移ってしまった。このバスの詳細な機能は第6章で触れた。

12.6　グラフィックアクセラレータとコプロセッサ

ローカルバスの強みは、データをパーソナルコンピュータ内のある場所からディスプレイメモリへ高速に転送できることである。しかし、最近のディスプレイ回路は、ビデオデータの大きなブロックを転送する必要性を、いかに少なくするかということに焦点を置いて設計する傾向にある。ディスプレイメモリとダイレクトに結ばれているプロセッサ(バスを介してディスプレイメモリにアクセスするマイクロプロセッサではなく)で画面上の画像の生成と処理を行うことによって、バス上で転送されるビデオデータを少なくすることができる。バスを通過するデータが少なければ、その分バスのオーバーヘッドの影響を受けなくてすむからである。このことは、転送チャネルにI/Oバスを使おうと、ローカルバスを使おうと、同じことがいえる。

処理機能をディスプレイメモリに近づけるという発想から、2つの技術が生まれた。その1つである〝**グラフィックアクセラレータ**〟は、重要なグラフィックスの定型処理(ライン描画、塗り潰し、Windowsのダイアログボックス作成など)を実行するように特別に設計されたVLSIチップを使用している。もう1つの技術である〝**グラフィックコプロセッサ**〟は、基本的にグラフィックス処理を専用に行うように設計されたマイクロプロセッサである。本来のマイクロプロセッサと同様に、グラフィックコプロセッサも、たとえばグラフィックアクセラレータの操作を実行するといったことのために、完全にプログラムすることができるが、実はそれ以上の能力も備えており、プログラマが考えることならほぼ何でもこなすことができる。グラフィックアクセラレータの機能と動作はハードウェアで設定されるが(そのため、グラフィックアクセラレータは**固定機能チップ**と呼ばれることもある)、グラフィックコプロセッサはソフトウェアを変えることで特性を変えることができるのだ。

それとは対照的に、古いディスプレイシステムはそれ自体には処理能力はなく、代わりにホストのマイクロプロセッサのインテリジェンスに頼っている。このような古い回路には、ディスプレイメモリを自身で制御できるような固有のインテリジェンスはなく、ディスプレイメモリは画像の各フレームを溜めておくだけである。これを**ダムフレームバッファ設計**という。

グラフィックアクセラレータとグラフィックコプロセッサは、パーソナルコンピュータのディスプレイシステムにインテリジェンスを与え、マイクロプロセッサの負荷を軽減することでバスの問題を解決した。画面上に画像を描くインストラクションを実行しなければならないマイクロプロセッサに代わって、グラフィックスチップがその仕事を引き受ける。マイクロプロセッサは、画面に表示するデータをすべてI/Oバスまたはローカルバスを通してディスプレイメモリに移さなければならないが、グラフィックスチップは直接ディスプレイメモリと接続されているため、バス転送の必要はない。この場合、I/Oバスを使ってデータを運ばなくても、パーソナルコンピュータのマイク

ロプロセッサはソフトウェアの描画コマンドをグラフィックスチップに送るだけでよく、バスを通過するデータも数千バイトの単位からほんの数バイトにまで減る。そのためバスの負荷は軽くなり、グラフィックスチップをI/Oバスやローカルバスを通してシステムに接続してもしなくても大した違いはない。

このグラフィックスの高速化という恩恵に与れないタイプの画像データもある。保存されているビットイメージである。画面に表示するつもりでハードディスクに保存されたビットイメージ（たとえばスキャナで取り込んだ写真など）のようなディスクベースのデータは、変換されずにダイレクトにディスプレイメモリに転送しなければならないのである。

グラフィックスチップの利点はそれだけではない。数値演算コプロセッサがパーソナルコンピュータのすぐれた機能をさらに向上させるように、グラフィックスチップも、モニタに画像を描くという目的において、システムの性能を上げることができる。汎用のマイクロプロセッサのインストラクションセットは、様々なものに対応するよう作られている。チップメーカーは、自分の作った製品が設計者にどう使われるのか分からないため、ほとんど何でもこなせるような能力を備えさせておくのである。このため同時に、特定の仕事に対してはその性能を多少犠牲にすることになる。グラフィックプロセッサのメーカーは、自社の製品がグラフィックスに使われることがわかっているため、グラフィックス機能のためのチップのコマンドセットを最適化することができるのである。

グラフィックアクセラレータとコプロセッサが協力しあって、解像度の高いディスプレイシステムの処理にあたることもある。ダムフレームバッファならば、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサが、ディスプレイメモリが使用しているアドレスにアクセスできる限り、どんなレベルの解像度でも処理できるが、高解像データは膨大であり、適当な性能を維持するためには、グラフィックスチップがさらに高速になる必要がある。グラフィックスチップは、ピクセル数が何百何千という大容量のグラフィックス情報もすばやく処理して、本体のマイクロプロセッサにじっくり考える時間を与えるのである。

グラフィックアクセラレータやコプロセッサは、マイクロプロセッサをもう一段階高い性能を持ったものに変えるよりも、高速なビデオ処理を実現することが往々にしてある。たとえば、33MHzの486マシンにグラフィックアクセラレータを搭載すれば、ダムフレームバッファを使う50MHzのマシンが達成しそうなレベルよりも、高速に画面描画を行うことができる。実際の速度は使用するアプリケーションソフトウェアによって決まるが、単にビットイメージを転送するだけのプログラムなら、アクセラレータからもコプロセッサからも恩恵を受けることはない。一方、図形を描くアプリケーション（CADなど）は何倍もの速さで疾走できる。

ハイレベルコマンド

グラフィックスチップの秘密の武器は、**ハイレベルグラフィックコマンド**である。通常のプログラムは、システムのマイクロプロセッサに画像をどう組み立て、どう処理するのかを、独自のコマンドセットを利用して命令する。マイクロプロセッサは、システム資産を使用して実現するように設計された機能しか実行できない。グラフィックスチップを追加したとしても、マイクロプロセッサはこのような通常のインストラクションを実行し続け、仕事の一部を補助チップに任せることはない。

グラフィックスチップに仕事を任せるためには、マイクロプロセッサは、なすべきことを指示する命令を送らなければならない。これがハイレベルグラフィックコマンドである。何もないところからコマンドは生まれない。したがって、コマンドはシステムで動かすソフトウェアの一部として存在しなければならない。マイクロプロセッサは命令を検出してそれをグラフィックスチップに送ると、そこで命令が実行されるのである。

コマンドの範囲は広い。中でも重要なものについて述べる。

■ ビットブロック転送

グラフィックスチップに、ディスプレイメモリ内

のある場所から別の場所へデータを動かすよう指示する命令。メモリを介して画面データの各データを動かす代わりに、マイクロプロセッサは、どのブロックを（データの始点）、どこへ動かすのか（終点）をグラフィックスチップに与えるだけでよい。するとグラフィックスチップ自身がデータ転送の処理を完全に実行する。

しばしばこの命令は、略してBitBltと呼ばれる。ビットブロック転送は画像をスクロールアップさせるコマンドとして最も一般的に使用されている。ビデオの性能に及ぼすコマンドの影響は、簡単に見ることができる。グラフィックスチップを使って画面上のビットイメージをスクロールアップさせたときに、画像の上部が新しい位置へ急に移動すると、画面の下部には黒い帯が残り、そこにゆっくりと残りの画像が現れることがしばしばある。最初の画像上部のすばやい移動は、BitBltを使ってディスプレイメモリの中で行われるが、残りの画像はI／Oバスあるいはローカルバスを通してディスプレイメモリに送られるために、このような遅れが出てしまうのである。

■ 描画コマンド

画像の部分の構成の方法、たとえば、ラインや矩形や弧を描いたり、線で囲まれた形の内部を色やパターンで塗り潰すといった指示をグラフィックスチップに伝える。このコマンドは、しばしば**グラフィックスプリミティブ**とも呼ばれ、1つの形を表示させるのに、画像をそれぞれがデジタル方式でコード化されるいくつかの構成部分に分ける。マイクロプロセッサが線を画面に描く場合、普通はまず線の各ビットが画面上のどこに現れるかを計算して、次に画面上に現れる各ピクセルの座標を計算し、それから変更内容をバスを通じてディスプレイメモリに送らなければならない。グラフィックスチップがあれば、マイクロプロセッサは線の始点と終点だけをチップに渡せばよい。グラフィックスチップがピクセルを計算して適当な値をディスプレイメモリに格納するのである。

■ スプライト

1つのユニットとして画面上を移動する小さなイメージ。ちょうど画面上のマウスポインタのようなものである。汎用のマイクロプロセッサにはスプライトを扱う機能はなく、そのためスプライトが画面上を動くたびに、スプライト画像の各ビットの位置を計算しなければならない。一方、グラフィックスチップの多くにはスプライトを扱う機能が組み込まれているので、チップはメモリにスプライトのビットパターンを保存し、画面上のどこにスプライトを置けばよいのか指示する命令を待つだけでいい。スプライトを描き直す必要はなく、グラフィックスチップは画面上の画像に割り当てられた座標を変えるだけでいいのだ。要するに、基本的には場所をマップし直しているだけなのである。

■ ウィンドウイング

最近のマルチタスクシステムで最もよく使われる機能の1つ。それぞれのタスクには画面上にエリアが与えられ、そこで動作や表示を行う。各タスクが使用するすべてのウィンドウを整列させることは、汎用のマイクロプロセッサにとっては難題であるのに対し、グラフィックスチップは通常簡単なコマンドを使ってウィンドウを管理できるように設計されている。一度画面上のウィンドウが定義されると、その後はデータを個々に移動させるのではなく1つのブロックとして処理される。ウィンドウの操作はあくまでソフトウェアが行うか、あるいは、ウィンドウ制御を合理化する特殊なハードウェアを備えたグラフィックスチップが行うかのどちらかである。

従来のウィンドウシステムでは、ソフトウェアが各ウィンドウの表示をコントロールしている。画面の配置が計算され、各ピクセルの正しい値がメモリマップ上の適切な場所に書き込まれる。画像を生成する際には、各メモリロケーションが順に読み出され、画面を走査している電子ビームの輝度を制御するためにその中の情報が使われる。各メモリロケーションは厳密な順序で順に走査される。

■ ハードウェアウィンドウイング

メモリマップを分割することで動作する。画面

上の各ドットには1ビット以上のメモリが割り当てられているが、マップは画面に正確に対応する必要はない。またビデオチップも、ビデオビームが画面をトレースする際に、メモリの位置を決まった順番で走査する必要はないが、その代わりに、ビームを制御するために走査されたメモリに、ポインタを渡さなければならない。このポインタを目印に別々のメモリ領域の間の走査は行われるのである。ポインタを渡された各メモリ領域は画面上のウィンドウに対応している。

各ウィンドウは別々に処理される。ウィンドウが使用するメモリは、システムのマイクロプロセッサのアドレス領域にマップされ、画面上の残りの部分は別に扱われる。このため、ウィンドウを変えるために通常必要な計算のほとんどは必要なくなり、画面の更新はかなり速くなる。

■ ハードウェアパニング

フレームバッファとして使用されていないディスプレイメモリ(たとえば、VGAボードの256Kバイトのうち、フル表示に必要な約160Kバイトを引いた残りの100Kバイト)を利用して、モニタ画面に表示されるよりも大きな画像を保存する。モニタの画像は本質的にウィンドウとしてディスプレイメモリに格納される。たとえば、余分なディスプレイメモリがあれば、640×480ピクセルを拡張しなくても、中心の640×480のマトリックスだけが表示される800×600のマトリックスを格納することができるだろう。画面上の画像をある方向に動かすには、ボードの出力を介して、定められたエリアのアドレスをディスプレイ回路が変えるだけでいい。アドレスを変えるほうが、BitBlt命令を使ってデータブロックを移動させるよりもずっと速い。表示された画像が完全な形でメモリに保存されている限り、すばやくハードウェアパニングを行うことができる。

12.7 グラフィック操作環境

グラフィックアクセラレータやグラフィックプロセッサを使ってディスプレイの表示速度を上げることに難点があるとすれば、それは特別な高水準コマンドが必要なことである。プログラムに必要なインストラクションがなければ、グラフィックスチップは何も実行できない。その場合はこの高価なハードウェアをみすみす無駄にしてしまうことになる。

したがって、プログラムは、システムのグラフィックハードウェアを利用するように特別に書かなければならない。それ自体は大したことはなさそうにみえるが、何十種類ものグラフィックスチップを使おうとした場合、それぞれに独自のコマンドセットがあるためそう簡単ではなくなる。利用するチップをすべて把握し使いこなすには、プログラムに各チップが使うであろうコマンドを用意しておく必要がある。新しいチップが増えるごとに、必要なコードも電子の癌のようにプログラム内で増殖していくだろう。結果としてプログラムが膨らみすぎて、性能に悪影響を与えることになってしまう。

グラフィックコードを抱えすぎたプログラムの問題を解決するのは、ソフトウェアドライバである。プログラム自体は、ほとんどのグラフィックスチップから利用できるハイレベルグラフィックコマンドの最もよく使われるサブセットになっている。プログラマは機能それぞれに自分専用のコマンドを使い、**ソフトウェアドライバ**と呼ばれる別々のプログラムを作る。ソフトウェアドライバは各プログラマ専用のコマンドを、特定のグラフィックスチップや特定のチップを搭載したボードで使用されるコマンドに変換する。マイクロプロセッサがプログラムのグラフィック命令の1つと遭遇したら、ソフトウェアドライバはマイクロプロセッ

サにグラフィックスチップに送るべき適切なインストラクションを伝え、グラフィックチップはその処理を実行するのである。

この設計はユーザーには便利だが、プログラマには悪夢を思い出させるかもしれない。ただし、プログラマに悪夢を見られるだけの睡眠時間があればの話だが。グラフィックスの問題に対処するためには、たとえそれが簡単なものでも、プログラマはグラフィックハードウェアにも精通していなければならない。ソフトウェアかハードウェアのどちらか一方の分野の専門技術を備えているだけでは十分とはいえないこの世界で、プログラマはその両方の魔法使いにならなければならないのである。

コンピュータ業界は、この問題を2つの方法で回避してきた。ソフトウェアドライバを書くという作業を、ディスプレイアダプタのメーカーに任せる方法(これは両方の専門技術の必要性を、ソフトウェアのメーカーからハードウェアのメーカーに単に移しただけ)と、**グラフィック操作環境**である。

後者は、ソフトウェアドライバのようなものをもう一段階進めたものである。つまり、ソフトウェアの層をもう1つ加えるのである。これは、1つのドライバさえあればその環境下でどんなアプリケーションも実行できるような先進的なビデオシステムと、アプリケーションの橋渡しをするソフトウェアブリッジとしての役割を果たす。グラフィック操作環境は、OS/2のようなオペレーティングシステムや、別のオペレーティングシステム下で動くWindowsのようなプログラムのどちらにも対応できる。

この環境は、プログラマに提供される**フック**と呼ばれるソフトウェアルーチンのセットを利用することで実現できる。プログラマはフックを使ってビデオディスプレイの特定の画像を引き出すことができる。操作環境はフックコマンドを自身の通常の言語に変換する。変換するのはグラフィック環境ドライバソフトウェアで、グラフィックアクセラレータ、コプロセッサ、またほかのビデオ機能が理解できるような形に変換される。つまり、アプリケーションを書く場合、プログラマは操作環境のフックだけ気にしていればいいのである。一方、操作環境の設計者は、自身の製品をできる限り多くの競合している非標準のビデオシステムに合わせるか、あるいはハードウェアメーカー側にこの作業を行わせる。

アプリケーションインターフェイス

プログラムフックをまとめて**アプリケーションインターフェイス**という。アプリケーションインターフェイスは、ソフトウェアとハードウェアをうまく適合させる中間の変換ステップである。これは、ディスプレイシステムを制御する(もしくはディスプレイソフトウェアとリンクする)公式な手段で、デバイスメーカーが文書化を行っている。その接続はハードウェアのダイレクト制御から、特殊なドライバと対話する最上層のソフトウェアまで、実に多様なインターフェイスに利用される。

たとえば、現在は生産されていないが、IBMの「8514/Aディスプレイアダプタ」のアプリケーションインターフェイスは、ディスプレイボードにビットブロック転送、ライン描画、塗り潰し、パターン描画、色の合成などを行わせるコマンドのセットで構成されていた。また、このアプリケーションインターフェイスは、欧文ピッチフォントや「IBM 3270端末」のものをベースにした英数字オペレーション用のテキストコマンドも含まれている。8514/Aのアプリケーションインターフェイスに対するコマンドは、BIOSのファンクションコールに似た形式だが、ソフトウェア割り込みではなくCALLコマンドによって呼び出される点が異なる。

アプリケーションインターフェイスは、プログラマにとってインストラクションマニュアルのようなもので、これによって、ディスプレイシステムに組み込まれた様々な機能をどう動かせばよいかを知ることができる。ユーザーがアプリケーションインターフェイスに関わることはなく、ユーザーが気を配らなければならないのは、選択したディスプレイシステムが、ソフトウェアのアプリケーションインターフェイスと互換性があるかどうかということである。XGAディスプレイシステムが必要なプログラムを買う場合は、ハードウェア

がXGAアプリケーションインターフェイスをサポートしているかどうか確かめなければならない。つまりXGAと互換性があるかどうかということである。

ときおり、プログラマは公式なアプリケーションインターフェイスを避けて、ディスプレイデバイスを低いレベルで、つまりよりハードウェアに近いレベルでコントロールすることがある。たとえば、IBMの8514／Aアプリケーションインターフェイスに従った多くのアプリケーションは、システムの性能を向上させるために、ディスプレイボードのハードウェアレジスタに直接にコマンドを送る。IBMがXGAディスプレイシステムを導入すると、突然アプリケーションインターフェイスは停滞を余儀なくされた。XGAは8514／Aアプリケーションインターフェイスを完全にサポートしていたにもかかわらず、まったく違うハードウェアを採用したためである。当然8514／Aシステムのダイレクトハードウェア制御を利用していたプログラムは、XGAディスプレイボードでは正しく動作しなかった。IBMの技術者たちのぼやきが聞こえそうだ。「マニュアルにそう書いてある」と。

グラフィック開発システム

もし、ユーザーインターフェイスからグラフィック操作環境を取り除いたとしたら、後に残るのはソフトウェアフックのセットであろう。これがアプリケーションをハードウェアにマッチさせているのである。このような製品を**グラフィック開発システム**といい、アプリケーションの開発者が操作環境で動くプログラムを書くのに役に立つ。操作環境を意識する必要がないという点で実にすぐれた製品である。プログラマは開発システムが提供するソフトウェアツールを利用することで、見栄えの良いコードを書くのが簡単になり、製品の市場を幅広い種類のハードウェアに広げることができる。またアプリケーションユーザーは、システム起動時に適切なドライバをロードしなければならないという手間から解放される。

グラフィックアクセラレータ

実際に、ディスプレイボードに組み込まれているグラフィックアクセラレータの種類は、チップメーカーの数しかないようだ。1992年中頃、6種の製品が流通していたが、どれも違うものでまったく互換性はなかった。ATIの「Mach 8」、Chips and Technologyの「82C453」、Integrated Information Technologyの「UV6000」、Silicon Sub System(S3として知られる)の「86C911」、Weitekの「W5086」である。いずれもアプリケーションを動かすにはそれぞれ特殊なドライバが必要である。

最新の製品はみな一様に、MicrosoftのWindowsの環境下でビデオの画像更新速度を向上させるという同じゴールを目指している。そのためハイレベルコマンドはどれも似通っている。たとえば、S3の86C911は、IBMのXGAシステムのコマンドレパートリーのサブセットを持つような設計になっており、Windowsのニーズに合わないようなハイレベルコマンドは使わない。

グラフィックアクセラレータがあるからといって、それだけですべてのアプリケーションの性能が向上すると約束されたわけではない。ソフトウェアは、グラフィックアクセラレータのアプリケーションインターフェイスに対応するようには作られておらず、アクセラレータを利用することはできない。その反対が問題になることもある。Windowsの動作速度を上げるように設計されたグラフィックシステムで、標準的なDOSプログラムを使用すると前より遅くなってしまう可能性がある。パーソナルコンピュータのほかのハードウェア同様、グラフィックアクセラレータも動かしたいアプリケーションに合わせて選択しなければならない。

グラフィックコプロセッサ

多くのグラフィックコプロセッサが、多様なアプリケーションのために開発され、ディスプレイシステムに採用されてきた。その中には(日立の「HD63484」やIntelの「82786」など)一度も主流の製品になったことのないものもある。Intelの「i860」や「i960」もまた、いくつかのハイエンド製品に採用されているが、厳密にいうと、これらのチップはRISCマイクロプロセッサで、ディスプレイの

タスクを数多くしかもそつなくこなすが、特にグラフィックコプロセッサとして設計されたわけではない。グラフィックコプロセッサの中で有効な製品として支持されてきたのは、Texas Instrumentsの「TMS34010」と、その改良版の「TMS34020」である。

本質的には、どちらのチップもグラフィックスの扱いに最適化されたマイクロプロセッサである。たとえば、現在のすぐれたマイクロプロセッサと比較してみても、古いTMS34010は大きな可能性を秘めたすばらしいチップである。32ビット幅のレジスタを31個持っているが、これはMacintoshで使われている68000マイクロプロセッサの32ビットレジスタの2倍であり、Intelの80386マイクロプロセッサの4倍である。TMS34020のアーキテクチャはまったく同じであるが、そのインプリメンテーションはさらに改良されており、古い方の2倍の性能を実現している。

グラフィックスでは、レジスタの数が多いほど有利になる。なぜなら、グラフィック処理のための多くのパラメータが、チップとメモリの間を絶えず行き来しなくて済み、プロセッサ内に留まっていられるためである。プロセッサから出してメモリに入れ、またプロセッサに戻す、といった無駄な情報の交換を**スラッシング**といい、速度に悪影響が及ぶこともある。

マイクロプロセッサベースでレジスタを多く持っているため、TMS34010とTMS34020は既存のチップよりもピクセル計算を巧みに扱うことができる。これらのチップは汎用マイクロプロセッサの最もすぐれた機能（プログラム能力、演算機能、論理関数）とピクセルのブロック転送など専門のグラフィック機能を組み合わせているのである。

TIチップは完全にプログラマブルなため、適切なプログラムを書きさえすれば、ほかのグラフィックシステムの機能を真似ることもできる。しかし、TIチップはその開発元が設計したアプリケーションインターフェイス、「Texas Instruments Graphic Architecture（TIGA）」をうまく利用しており、今や多くのアプリケーションがTIGAに準拠して書かれるようになっている。TIチップをベースにしたグラフィックボードはそれぞれ異なるものだが、TIは、TIGAインターフェイスに製品を簡単に合わせられるツールを各メーカーに提供している。TIGAを使うプログラムはすべて、この規格をサポートしているボードならどれでも使うことができるが、ボードが変われば違うソフトウェアドライバ（各ボードに付属）をインストールする必要がある。

TIチップはまさにマイクロプロセッサであり、機能を実行するためにはメモリを必要とするため、TIGAボードには2種類のメモリがある。フレームバッファ用のディスプレイメモリと、チップのオペレーション用のインストラクションメモリである。ほかのグラフィックシステムでは、ディスプレイメモリの大きさによって、ボードの最大解像度や保存されるカラープレーンの数がある程度決まってくる。

TIGAでは、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサがフレームバッファをアドレス指定することは通常はできない。そのため、これらのボードのほとんどは、TIGA環境のメリットを享受できないままで動かす場合（普通のDOSアプリケーションなど）は、別々のディスプレイシステムが必要である。その場合、TIGAボードはほかのディスプレイアダプタと共存するか、あるいは、TIGA回路のほかに標準のディスプレイアダプタを組み込まなければならない。こういった〝組み込み〟回路はオプションの場合が多い。たとえばDOSの機能を高めるためにメインのディスプレイボードに取り付けるドータカードなどもそうだろう。

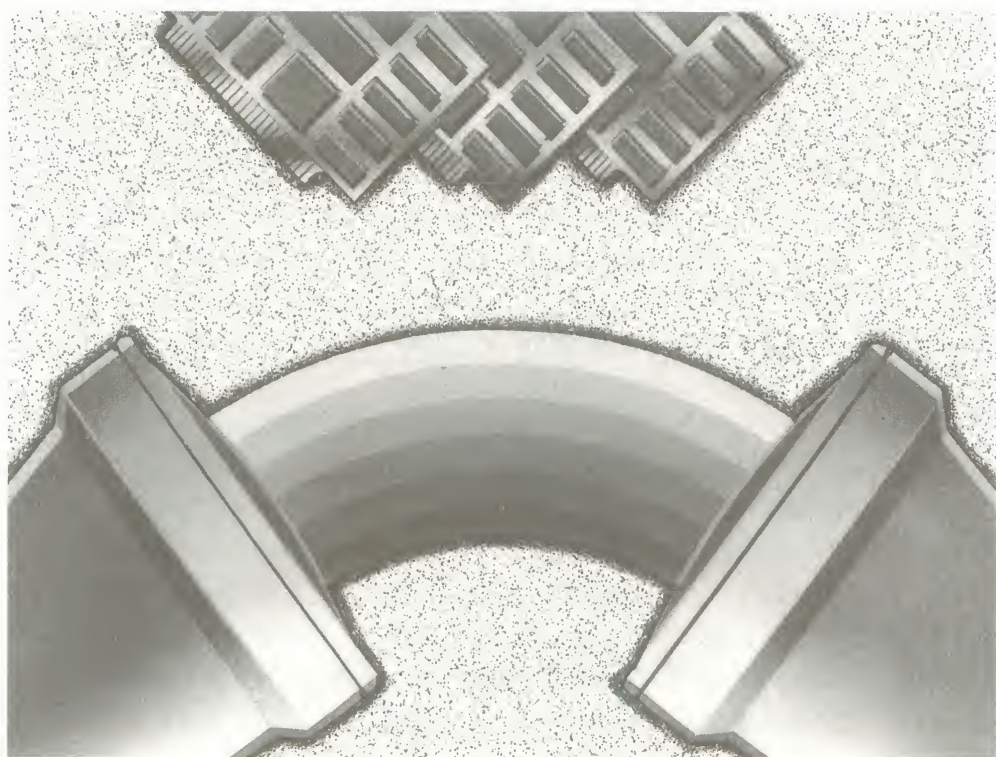
このようなボードの〝ナチュラルモード〟の操作画面は、DOSアプリケーションに使用されるモニタとは別のモニタを通して表示される。この〝2モニタシステム〟では、片方のモニタはDOSディスプレイ（CADプログラムに与えるコマンドなど）で、もう1つはTIGAボード用である（CADプログラムが作るワイヤーフレーム画面など）。DOSディスプレイはVGAのような標準モードで動作するが、TIGAディスプレイは高解像度表示が可能である。多くの人は2台目のモニタを買う余裕はないだろうし、机の上をこれ以上乱雑にしたいとも思わないかもしれない。このため、ほとんど

のTIGAアダプタは、オンボードVGA回路を使うか、もしくはTIGAを介してループする標準ビデオボードの出力(2つのボードは接続されており、標準ボードアダプタの出力はTIGAボードのコネクタに現れる)をサポートすることによって、1台のモニタによるオペレーションも可能である。

インストラクションメモリが多ければそれだけ、ディスプレイシステム全体の性能を上げることができる。たとえば、メモリはグラフィックコマンドで描画した結果を一時的に保存するため、計算しなおさなくてもすぐに画像を再生できる。CADアプリケーションではこれを**ディスプレイリストメモリ**と呼んでいる。

ほかのマイクロプロセッサ同様、TMSシリーズのチップは異なる速度で動作することができる。ほかの条件が同じならば、グラフィックコプロセッサのクロックスピードが速ければその結果の表示も速くなるのだ。

第13章

ディスプレイアダプタ

脈打つように動作しているパーソナルコンピュータのデジタル回路の思考を、モニタが表示できる信号に変えるハードウェアを、ディスプレイアダプタと呼ぶ。何年にもわたって、ディスプレイアダプタは解像度やグラフィック能力を向上させ、カラー表示を可能にし、さらに表示可能な色の範囲を増加させて、パーソナルコンピュータユーザーの要求に応えてきた。そして、数多くの標準規格が展開され、それぞれがモニタ画面に映し出される画像の品質を向上させてきた。ディスプレイアダプタ自身がパーソナルコンピュータから消えてゆくことはあっても、標準規格としての遺産はその後も残っていくだろう。

最初の頃は、モデルもIBM PCの1つだけ、それに接続することのできるモニタも1種類だけで、選択肢というものはなかった。発達初期のモデルで使用されたモニタは黒地に緑で表示を行っていたが、これ以外にはオプションも代替品もまったくなかった。さらに悪いことには、その緑色の画面に表示されるものは、痩せ細ったテキストかブロックを組み合わせたグラフィックスで、クレヨンを卒業してようやく鉛筆に持ち換えた子供が描くようなお粗末なものだった。

このようなディスプレイを取り巻く初期の状況については、ユーザーがどんなモニタを買おうか迷わなくてすんだことが、強いていえば唯一の利点だったといえよう。色によってもたらされる芸術や美術、創造性、あるいは意志の疎通や理解の向上といったようなことまで気にする必要もなかった。

パーソナルコンピュータが、ただコンピュータであるというだけで満足していたマニアの手から、現実的な用途に使用する人々の手に移るやいなや、最初のディスプレイシステムの能力の不足が明らかになった。実際、ディスプレイには多くの改良の余地があった。そして、ディスプレイシステムに対する飽くなき要求は、絶え間なく進歩を続けるディスプレイ規格を生み出し、その進歩の流れは一向に止まる気配を見せない。こうして、かつてはコンピュータを普通のテレビ受信機に接続しても品質の良い表示は得られなかったのが、今や映画にもまさる画質を実現できるようになっている。

ユーザーにとって、今日のディスプレイシステムにおける唯一の頭痛の種は、ビデオ規格とディスプレイアダプタが山のようにあって選択に困ることである。すでに半ダースもの〝公式な〟ディスプレイ規格がありながら、新しいパーソナルコンピュータモデルの発表を追いかける形で、新しい規格を作り出す組織や新しいアイデアが次々と生まれている。標準規格とディスプレイアダプタは互いに協調関係にあるが、その関係は一定したものではない（規格を設定する団体も変わる）。最初のビデオ規格は当時の流行を左右していたディスプレイアダプタから簡単に決まった。つまり、IBMが製品を発表すると、その製品がそのまま業界標準になっていたのである。ほかのメーカーはIBM製品の仕様と能力に合わせて、自分たちのディスプレイアダプタを設計していた。しかし、あとになってIBMは、ほかの企業の団体組織に押されて標準規格を設定する力を失い、コンピュータ業界は何年もの間揺れ動いていた。そのような中で、パーソナルコンピュータとそのディスプレイシステムに関する新しい規格を設定する委員会を組織するために、主要な企業が行動を共にする（最後にはIBMも参加）ことになり、現在ではVideo Electronics Standards Association（VESA）が、パーソナルコンピュータ製品の主要なディスプレイ規格に対する公式な認可を行っている。

今日、伝統的なディスプレイアダプタは消えて、マザーボード上の一機能になりつつある。マザーボード上のローカルバスビデオシステムやPCIバスといった技術革新は、従来のディスプレイアダプタ設計を犠牲にすることによって、高い速度を達成している。しかし、たとえ従来のディスプレイアダプタが個別の存在としては完全に消えたとしても、それに採用されている規格は、市場のすべてのパーソナルコンピュータの本質要素として残るだろう。

ディスプレイシステムの発展の過程では、いくつかの脇道もできた。たとえば、VGA規格が幅広く浸透する前には、Hercules Computer Technologyによって開発されたモノクログラフィックシステムがモニタ画面上のビットイメージグラフィック用の主たる選択肢であった（低価格のパーソナルコンピュータの中には現在でもHercules互換のディスプレイアダプタを搭載しているものがある）。ソフトウェアの中には、今はもうすたれてしまったディスプレイアダプタによって設定された、IBMの古いビデオ規格に対して互換性を維持しているものがある。次ページの**表13-1**にIBMのビデオ規格を示す。これらの過去の規格のほとんどは、最新の機器でも有効である（これはIBMのディスプレイ製品に計画的にうまく組み込まれているバックワードコンパチビリティ*[1]のおかげである）。一番最初の原始的なディスプレイシステムでさえ、パーソナルコンピュータが動作している様子を視覚的に表わすための、最も低コストの手段として今も存在しているのだ。

したがって、パーソナルコンピュータに使用されるディスプレイアダプタに関する論議は、最初のPCに搭載されたIBMのモノクロームディスプレイアダプタから始めるべきだろう。モノクロームディスプレイアダプタは、今や技術的には化石のようなものだが、続々と誕生する新しいマシンを含めた数多くのパーソナルコンピュータの一部として、今も存在しているのだ。

表13-1　IBMビデオ規格

解像度	色数	モード	キャラクタボックス
MDA　モノクロディスプレイアダプタ（1981年）			
720×350	1	Text	9×14
CGA　カラーグラフィックスアダプタ（1981年）			
640×200	16	Text	8×8
320×200	16	Text	8×8
160×200	16	Graphics	None
320×200	4	Graphics	None
640×200	2	Graphics	None
HGC　Herculesグラフィックスカード（1982年）			
720×350	1	Text	9×14
720×348	1	Graphics	None

＊1　訳注：バックワードコンパチビリティ（下位互換）。過去の機器の上に開発されたソフトウェアを最新の機器の上でも動作させることを可能にするため、新しい機器に過去の機器との互換性を維持するように配慮すること。

解像度	色数	モード	キャラクタボックス
EGA　エンハンスドグラフィックスアダプタ（1984年）			
640×350	16	Text	8×14
720×350	4	Text	9×14
640×350	16	Graphics	None
320×200	16	Graphics	None
640×200	16	Graphics	None
640×350	16	Graphics	None
PGA　プロフェッショナルグラフィックスアダプタ（1984年）			
640×480	256	Graphics	None
VGA　ビデオグラフィックスアレイ（1987年）			
720×400	16	Text	9×16
360×400	16	Text	9×16
640×480	16	Graphics	None
640×480	2	Graphics	None
370×200	256	Graphics	None
MCGA　メモリコントローラゲートアレイ（1987年）			
320×400	4	Text	8×16
640×400	2	Text	8×16
640×480	2	Graphics	None
320×200	256	Graphics	None
Super VGA（VESA仕様）（1989年）			
800×600	16	Graphics	None
8514/A（1987年）			
1024×768	16	Graphics	None
640×480	256	Graphics	None
1024×768	256	Graphics	None
XGA　拡張グラフィックスアレイ（1990年）			
640×480	256	Graphics	None
1024×768	256	Graphics	None
640×480	65,536	Graphics	None
1056×400	16	Text	8×16
解像度	垂直同期周波数（Hz）	水平同期周波数（kHz）	ハードウェアの互換性
MDA			
720×350	50	18.43	None
CGA			
640×200	60	15.75	None
320×200	60	15.75	None
160×200	60	15.75	None

解像度	垂直同期周波数 (Hz)	水平同期周波数 (kHz)	ハードウェアの互換性
320×200	60	15.75	None
640×200	60	15.75	None
HGC			
720×350	50	18.10	MDA
720×348	50	18.10	MDA
EGA			
640×350	60	21.85	CGA、MDA
720×350	60	21.85	CGA、MDA
640×350	60	21.85	CGA、MDA
320×200	60	21.85	CGA、MDA
640×200	60	21.85	CGA、MDA
640×350	60	21.85	CGA、MDA
PGA			
640×480	60	30.50	CGA
VGA			
720×400	70	31.50	CGA、EGA
360×400	70	31.50	CGA、EGA
640×480	60	31.50	CGA、EGA
640×480	60	31.50	CGA、EGA
320×200	70	31.50	CGA、EGA
MCGA			
320×400	70	31.50	CGA、EGA
640×400	70	31.50	CGA、EGA
640×480	60	31.50	CGA、EGA
320×200	70	31.50	CGA、EGA
Super VGA			
800×600	56、60、72	35.00、37.60、48.00	VGA、CGA、EGA
8514/A			
1024×768	43.48	35.52	VGA パススルー*
640×480	43.48	35.52	VGA パススルー
1024×768	43.48	35.52	VGA パススルー
XGA			
640×480	43.48	35.57	VGA
1024×768	43.48	35.52	VGA
640×480	43.48	35.52	VGA
1056×400	43.48	35.52	VGA

*NOTE：VGA パススルーとは、ほかのボードやマザーボードに搭載された VGA アダプタからの信号を受け、それを高解像度ボードに接続されているモニタに渡す機能のことである。これにより、1つのモニタを VGA とハイエンドアプリケーションの両方で使用できる。

13.1　モノクロームディスプレイアダプタ

最初のPCと共に1981年に発表された**モノクロームディスプレイアダプタ**は、そのイニシャルをとってMDAという名前で一般に知られている。公式の名前はこれよりもずっと長く、〝モノクロームディスプレイおよびパラレルプリンタアダプタ〟で、単にそのものを説明的に表わしただけである。その名前の〝モノクローム〟は、MDAの最も重要な特徴を表わしている。MDAは単色のディスプレイ、特に膨大な数に及ぶすべてのIBMシステムの原点に位置する、毒々しい緑色の画面で動作するように設計されている。また〝ディスプレイアダプタ〟の部分は、この装置の機能を表わしている。このボードは、パーソナルコンピュータのバス上の信号を、ビデオのシステムが認識できる形に変えるのだ。〝パラレルプリンタアダプタ〟は、このボードの付加機能で、ほかの拡張スロットを犠牲にすることなくプリンタを接続できる。

MDAは、技術的にはキャラクタマップシステムであり、IBMの拡張キャラクタセットのほかにはグラフィックに対する規定はまったくなく、トランジスタートランジスタ論理(TTL)規格(5Vで論理的なハイレベル、0Vでローレベルを示す形式の信号規格)に従ったデジタル信号を使用する。1987年までの数ヶ月の間、つまり、PS／2の製品群と同時にVGAシステムが発表されるまでは、MDAは当時としては最もシャープなキャラクタを画面に出力し、最高品質のテキストを作り出せる、唯一のパーソナルコンピュータのディスプレイシステムであった。

その素晴らしいテキストの品質は、偶発的に生まれたものではなかった。このシステムは、テキストをターゲットとして設計されたのである。MDAは、IBMがパーソナルコンピュータを使って絵を書くことなどまったく想像もしていなかったということを暗示している。PCが発表された当時、グラフィックは通常の小型ビジネスコンピュータの機能ではなく、ほとんどのメインフレームコンピュータのターミナルでさえ扱っていなかった。

MDAのドットボックス

大型のコンピュータシステムに使用されていたターミナルと同じくらい明瞭なキャラクタを表示するために、IBMはMDAのキャラクタボックスを9×14ピクセルとし、そのボックスの中のおもなキャラクタは、7×9のマトリックスを使用して構成することにした。表示がより読みやすくなるように、キャラクタに使われないボックス内の余分なドットによって、各行の間に一定の間隔が確保されたわけである。この行間隔は、これがないために見にくい表示に苦労していた当時のユーザーに、たいへん歓迎された。このキャラクタボックスを、ほとんどのVDTに採用されている80列25行のデフォルト配列に置くには、垂直に720ピクセル、水平に350ピクセル、画面全体で合計258,000ドットが必要である。

MDAのフレーム周波数

IBMは、すべてのドットを表示する方法については妥協した。高いフレーム周波数で全部の情報を表示するには、PCが発表されたときに存在した(少なくとも安価な)モニタよりも、広い帯域幅のモニタが必要だったからである。IBMはフレーム周波数を50Hzまで下げる代わりに、標準のモノクロディスプレイには残光期間の長い蛍光体を使うことによって、発生するフリッカを補正した。

このように、フレーム周波数が低いため、電子ビームの水平走査には余計な時間がかかるが、IBMのモノクロ規格のドット密度は、当時人気のビデオモニタ(およびテレビ受信機)よりも高い水平同期周波数が必要で、通常の15,525kHzに対し18.1kHzという周波数であった。

6845ビデオコントローラ

MDAの基本は「6845ビデオコントローラ」と、キャラクタマップビデオ情報を保持するための4KバイトのM双方向スタティックRAMである。このメモリ容量は、ビデオの1ページ分しか保持でき

ない。6845は、一連のレジスタによって制御される、完全にプログラム可能なデバイスである。プログラムは6845の様々なレジスタに値をロードして、6845(およびこれをベースに構成されたディスプレイアダプタ)が生成するビデオ信号の特性を変更することができる。表13-2に6845チップのレジスタを示した。

表13-2 6845ビデオコントローラのレジスタ

レジスタ	説明	プログラム単位	書き込み/読み出し
R0	水平総キャラクタ数	キャラクタ	書き込みのみ
R1	水平表示キャラクタ数	キャラクタ	書き込みのみ
R2	水平同期信号位置	キャラクタ	書き込みのみ
R3	水平同期幅	キャラクタ	書き込みのみ
R4	垂直総行数	行	書き込みのみ
R5	垂直総行数調整	走査線	書き込みのみ
R6	垂直表示行数	列	書き込みのみ
R7	垂直同期信号位置	列	書き込みのみ
R8	インタレースモード	なし	書き込みのみ
R9	走査線の最大アドレス	走査線	書き込みのみ
R10	カーソル開始位置	走査線	書き込みのみ
R11	カーソル終了位置	走査線	書き込みのみ
R12	スタートアドレス(ハイ)	走査線	書き込みのみ
R13	スタートアドレス(ロー)	なし	書き込みのみ
R14	カーソル(ハイ)	なし	読み出し/書き込み
R15	カーソル(ロー)	なし	読み出し/書き込み
R16	ライトペン(ハイ)	なし	読み出しのみ
R17	ライトペン(ロー)	なし	読み出しのみ

カーソル

画面上で点滅するカーソルは、6845ビデオコントローラによって作り出されている。このカーソルは、点滅周期がシステムのハードウェアによって設定されていて、変えることができないことから、**ハードウェアカーソル**と呼ばれる。ただし、値を6845ビデオチップの適切なレジスタにロードすることによって、点滅を停止したりカーソルのサイズを変更することは可能である。

インターフェイス

MDAは周波数だけでなく、接続方法もほかの様々なモニタとは異なるものを採用したが、IBMの影響力とPCが広範に普及したことによって、一般的になものになった。MDAからのTTL信号は、電子銃に対するドライブ信号、輝度ビット(これにより強調されたドットとキャラクタはより明るく光る)、水平同期信号、垂直同期信号の4種類から成る。これらの信号はいずれもデコードする必要がなく、これらを扱うディスプレイ回路の一部に直接に接続されることから、**ダイレクトドライブ**と呼ばれることもある。

MDAと互換性があるモニタは、〝ダイレクトドライブモニタ〟と呼ばれることがある。また、これらのモニタはTTLの回路系統により規定される電圧レベルに従っていることから、〝TTLインターフェイスモニタ〟と呼ばれたり、MDAのデジタル信号を使用するので、〝デジタルモニタ〟とも

呼ばれたりする。

これらの信号は、MDAのブラケットのメスの9ピンDsubコネクタのピンに割り当てられている。そのピン配列を図13-1に示す。

MDAボードで動作するのは、TTLインターフェイスモニタかMDAモニタだけなので、注意が必要だ。コンポジットモノクロモニタはMDAとは互換性はないので、〝モノクロVGAモニタ〟と呼ばなければならない。これらの種類の異なるモニタは、使用しているコネクタの形も違うので、MDAディスプレイには接続することさえできない。

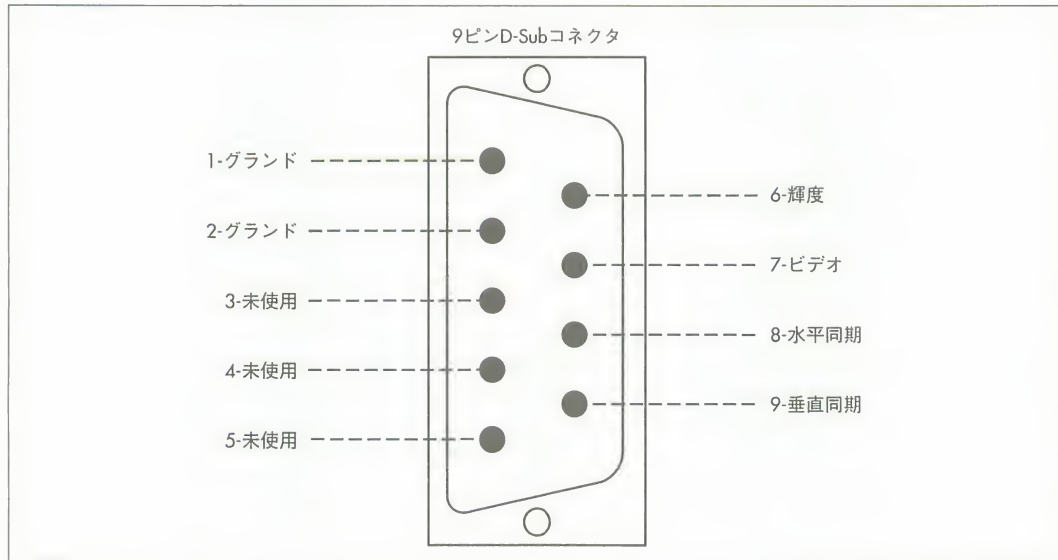



図13-1　MDAのピン配列

13.2　カラーグラフィックスアダプタ

IBMがパーソナルコンピュータのために開発した最初のビットマップディスプレイアダプタが、**カラーグラフィックスアダプタ**(CGA)である。これが1982年にMDAに代わるものとして発表されたとき、プレーンな緑色のコンピュータ画面に慣れた人々はその画像の鮮明さに目をみはった。今日のディスプレイシステムと比較すると、CGAの色彩はむしろくっきりしており、16種類の輝度と原色の組み合わせ(黒、ダークグレー、ライトグレイ、白なども含まれる)が表示できる点を特長としていた。これらの色をテキストを多色化する以外にも利用するため、CGAボードは実用に十分耐えるものから中途半端なものまで、いくつかのレベルの解像度を持つグラフィックスモードを取り入れた。名前が示すように、CGAシステムはカラー画面でグラフィックスを表示することを目的として設計されたものだが、テキストモードも持っており、モノクロームディスプレイと一緒に使用することもできた。ただしIBMのMDAディスプレイとは接続できない。

CGAディスプレイアダプタは、モノクロおよびカラーのコンポジットモニタの両方で使用でき、また、テレビ受信機で使用できるようにモジュレータに対する出力も持っていた(もちろん、テレビ

をCGAボードに直接接続するには、テレビにモニタと同じ形式のコンポジットのビデオ入力がなければならない)。さらに、CGAボードはライトペンを接続できる機能を持っていた。

CGAは、複数モードを持つディスプレイアダプタとして設計されたもので、キャラクタマップとビットマップの両方のディスプレイ技術が使用でき、さらに各々についていくつかのオプション設定が可能だった。画像を格納するために、CGAのボードはダムフレームバッファとしての機能を持ち、システムのマイクロプロセッサから直接アクセスできる16Kバイトもの大量のメモリを搭載していた。

CGAはもはや時代遅れのものになっており、現在ではこの規格に適合するディスプレイアダプタとしては、10ドルたらずの処分品や輸入品のクローンボードしかない。これに適合するモニタも、中古品か在庫処分品以外にはまず見つからないだろう。しかしながら、IBMによって作られたほかのすべてのディスプレイシステムの中にはCGAが生きている。最新のディスプレイアダプタのカラーテキストモードは、CGAのアドレッシング方法をエミュレートしている。また、現在のディスプレイアダプタのほとんどすべてが、CGAディスプレイを使うことを前提に書かれた過去のソフトウェアと互換性があるグラフィックスモードを持っている。CGA規格は、これからの世代の製品ではソフトウェアの互換性のためにのみ存在すると思われる。

CGAのキャラクタモード

CGAシステムのテキストモードは、MDAシステムのテキストモードとそっくりに設計されている。テキストモードは起動時の初期モードであり、CGAシステムのキャラクタマッピングモードである。CGAテキストモードとMDAテキストモードの主な相違点は、メモリに使用されているベースアドレスと、サポートされているキャラクタの属性(アトリビュート)に見られる。

また、CGAハードウェアは2つの初期のIBM規格とも違っている。MDAが非標準の水平および垂直同期周波数を使って鮮明な画像を生成するような、専用モニタで動作するように設計されたのに対して、CGAシステムは標準の周波数を選択している。つまり、コンポジットビデオディスプレイの水平/垂直走査速度をベースにして設計されているため、CGAシステムは、当時の大半のモニタと互換性を持つことができたのである。しかしこのため、画像の品質が犠牲にされている。

コンポジットビデオ規格(水平同期周波数が15,525Hz、垂直同期周波数が60Hzである)の範囲で動作できるように、CGAシステムはディスプレイを640×200ピクセルに分割している。これでMDAが採用しているのと同じ80×25の配列で2,000文字を画面に表示するには、ドットボックスは8×8ピクセルにせざるをえない。これは、見た目にも計算上も、最低品質のドラフトモードで動作する9ワイヤのドットマトリックスプリンタの出力より品質が劣るということである。

CGAの16Kバイトのメモリは、4ページのテキストを処理するのに十分な大きさである。この4ページのうち、通常テキストモードで使用されるのは1ページ、つまり先頭ページだけであるが、残りのページに対しては、BIOSかCGAのモードレジスタを直接変更すると、プログラムおよびユーザー自身がアクセスできるようになる。

CGAキャラクタの品質

CGAシステムでは、各キャラクタに7×7のマトリックスが割り当てられ、下に突き出る文字(g、j、p、q、y)と文字間隔のために、それぞれ1ドットが確保されている。このため、ドットボックスの高さいっぱいを占める下方突出文字は、下の行の上方突出文字(b、d、f、h、k、l)と接触することになる。また、ドット数が少ないため、画面上のテキストは、MDAが生成するテキストと比べると雑に見える。

40桁テキスト

このような貧弱なキャラクタでさえ、標準的なカラーのテレビ受信機で見るよりは鮮明である。大半のテレビでは、受信装置内部とブラウン管の両方の信号の解像度に限界があるため、1行80桁のテキスト行では判読可能とはいえぼやけた表示

になってしまう。テキストをカラーテレビに鮮明に表示するために、IBMはテキストの桁数を80桁から40桁に減らした特殊な低解像度テキストモードを追加している。行数はテレビでも問題ないので、ほかのディスプレイの場合と同じ25行のままである。

40桁テキストモードのキャラクタは、80桁モードに採用されているのと同じ8×8ドットボックスの中で作られるため、同じ品質上の制約を受ける。これらのキャラクタは雑に見えるが、幅が広くなっているために80桁モードのキャラクタよりは読みやすい。

40桁モードは、PCの黎明期においてさえも重要な計算に使用されることはほとんどなかったが、DOSユーテリティを始めとする多くのプログラムは、40桁を超えないテキスト行を作ることでこのモードに配慮している。一部のディスプレイの表示が変に見えるのはこのためである。安いマシンでも確実に動作するように、ユーテリティはこの40桁モードで作成されている。

テキスト色

いずれのテキストモードでも、CGAの属性システムによって、最大16色のカラーパレットを一度に画面に表示できるようになっている。テキストのキャラクタはこれらの16色中の1色で表示することができる。この属性システムは、現在でもVGAシステムのテキストモードに採用されている。

このCGAの属性システムのもとでは、キャラクタの背景、つまり8×8ドットボックスの中のキャラクタに使用されないドットは、これら16色中のキャラクタに使用した以外の色に設定することができるが、1つ制限がある。システムのデフォルト時の動作モードでは、バックグラウンドカラーは8色だけに限定されるのだ。これは、バックグラウンドカラーの輝度を制御するアトリビュートバイト中のビットに別の仕事（キャラクタの点滅動作の制御）が割り当てられているためである。

CGAボード上のあるレジスタによってこの属性ビットの定義は変更される。このレジスタに数値をロードすると、ユーザーまたはプログラムは、点滅と高輝度のバックグラウンドカラーのいずれかにその機能を切り換えることができる。ただし、このレジスタが画面上のテキストすべてに影響を及ぼすことに注意しなければならない。つまり、点滅するキャラクタと高輝度のバックグラウンドカラーを、画面上で同時に使用することはできないということだ。

CGAでは、プログラマがこのレジスタを直接操作しなければならないが、これより進んだIBMディスプレイアダプタには、この機能を処理する特別なBIOSルーチンが付加されている。

境界色

CGAの別のレジスタは、**境界色**（border color）を制御している。画面の境界とは、テキストが表示される有効なデータ領域の外側にある画面区域のことである。黒地に白というのがCGAディスプレイのデフォルト色であるが、この場合は画面を取り巻いている黒色の境界は見た目には気がつかない。しかしテキストのバックグラウンドカラーを変えると境界が現われて、テキストディスプレイには文字の端と境界の間に不快になるほどにきつい輝度の差が現れる。

CGAシステムが表示できる16色中のいずれかの境界色にCGAレジスタを設定すると、画像は見やすくなる。このレジスタは**色選択レジスタ**と呼ばれ、I／Oポートの03D9hにある。このレジスタの下位4ビットが境界色を制御している。

フリッカとスノー

CGAなどのディスプレイシステムの多くに見られる、最も顕著で最も不快な特徴の1つに、ディスプレイが高解像度のテキストモードでスクロールする際に現われるちらつきという現象がある。この**フリッカ**と呼ばれる現象は、ディスプレイアダプタが直接の原因ではない。グラフィックスアダプタが高速なプログラムに使用される場合に、パーソナルコンピュータの処理速度が遅いことが原因である。

画像を画面上でスクロールする際には、画面上のすべてのキャラクタ（およびその属性）の位置を変更しなければならないため、ディスプレイが使

用しているすべてのデータを移動しなければならない。IBMのディスプレイシステムは、電子ビームが1つのフレームの終わりである画面の最下部の位置から、次のフレームの始めになる画面の最上部まで移動する間、つまり、**垂直帰線期間**と呼ばれるこの短い期間に限定して、情報が画面に書き込まれるように設計されている。この帰線期間中は電子ビームはオフにされるため、何を送信しても画面には表示されない。

CGAやほかのディスプレイメモリが、電子ビームが無効にされていないときに変更されると、ディスプレイシステムは、データの変更中にビデオメモリを走査してしまう可能性がある。結果として、すべての無効なパルスが拾い上げられて画面に送信されることになる。この効果は画面上では動画のフラッシュのように見える高輝度ドットの突風として現れる。この奇妙な画像のフラッシュが、俗に**スノー**と呼ばれるもので、正式には**ビデオノイズ**という。不規則に置かれるドットが、想像力を働かせると雪嵐のように見えることからこのような呼び方をされている。

CGAカードには、帰線動作が発生している期間を表わすステータスビットがある。これは、プログラムまたはBIOSが画面に書き込みを行えるかどうか知りたいときに照会する〝敵艦なし〟を意味する信号である。ただし、帰線時間はせいぜい数行が更新できる程度の短さである。このスノーを避けるには、複数の帰線期間中またはスノーが発生する間はスクロール速度を遅くしなければならない。IBMでは、スクロール中に画面が更新されるときには、その期間中、電子ビームをオフにしてこの問題を回避している。この場合、目に見えない垂直帰線期間中に瞬間的に消すのではなく、画面を1秒にかなり近い時間、はっきり見える程度に消すのだが、同時にこの画面消去がフリッカの原因となる。

CGAアダプタの場合には、スノーを解決しようと思ったらフリッカの問題は諦めなければならない。これに対しほかのビデオアダプタは、1回の帰線期間で完全に更新できる高速メモリを採用したり、2つの問題を同時解決するために、読み取り中に更新できる別のタイプのメモリを採用したりしている。ただし、これらの高速ボードを使っても、ビデオの帰線を待つと画面の反応が遅くなる場合がある。アプリケーションソフトウェアの中には、ルールに従ってIBMのスノー除去方式によって画面を更新するか、スノーなしで収まる保証はないがデータをビデオメモリに全速力で書き込むかの選択が行えるものがある。高速のパーソナルコンピュータやディスプレイアダプタを使用すれば、後者のモードで画面に影響も出さずに高速性を手にすることができる。

グラフィックスモード

CGA規格には、低解像度、中間解像度、高解像度と呼ばれる3段階の解像度のグラフィックスモードがある。ただし、これらの名称はシステムの導入時点では適切だったが、現在では、CGAの最高解像度でさえ、大半のディスプレイシステムと比較すると低いレベルになっている。

CGAグラフィックスの各解像度では、16Kバイトという使用可能なメモリ容量がボトルネックとなって、画面上のドット数と表示可能な色数はどちらか一方を犠牲にしなければならない関係になっている。

低解像度

CGAの低解像度グラフィックスモードでは、画面は200×160ドットで構成される（ただしこのモードはIBMではサポートしていない）。このディスプレイには32,000ピクセル必要であり、属性の格納には4ビットを使用するため、4色プレーンで16色が実現される。低解像度モードでは、CGAシステムで使用できる16色すべてを同時に発色できるが、画像がずんぐりして見えるために、このモードは現在ではほとんど使用されていない。

中間解像度

色と鮮明さに妥協点を見出すために、IBMは中間解像度モードを設計している。この中間解像度規格では、320×200ドットで同時に最大4色を発色できる、2枚のカラープレーンを実現している。

ただし、この4色はランダムに選択することはできない。IBMは4種類のパレットに使用を限定

している。赤、緑、茶、黒からなるパレットと、白、マゼンタ、シアン、黒(または選択されているバックグラウンドカラー)からなるパレット、そしてこれらの高輝度タイプの2種類のパレットである。使用するパレットは特定のビットを使って選択する。ビット5で、赤／緑パレット(0設定)かマゼンタ／シアンパレット(1設定)かの選択を行い、ビット4で輝度を選択する(低輝度の場合には0、高輝度の場合には1を設定する)。また、ビット0から3ではバックグラウンドカラーを選択する。BIOSによって設定されるデフォルト値は、バックグラウンドカラーが黒で、高輝度のマゼンタ／シアンのパレットである。

高解像度

CGAの高解像度モードでは、1ビットが画面の各ピクセルに割り当てられるため、横640、縦200のピクセル配列を個別に制御することができる。属性情報を格納する追加メモリがCGAでは使用できないため、すべてのピクセルは同色、同輝度でなければならない。ただし、色選択レジスタを使って希望する色を選択することができる。

CGAのメモリ構成

グラフィックスモードでは、CGAは特殊なメモリ構成を採用している。0から始まる偶数番号の走査線を、絶対メモリアドレス0B8000hから順番に格納する。また、奇数番号の走査線は、これに2000hを加えたアドレスから順番に格納する。このような特殊な構成が使用されているのは、ハードウェア設計の事情からである。

複数ビットが1ピクセルに割り当てられるときには、これらは連続したビット列として特定の記憶場所に保持される。中間解像度モードの場合には、1バイトあたり4ピクセルである(図13-2参照)。

中解像度グラフィックモードでは、1バイトは画面上の4ピクセルに対応している。2ビットのパターンで、1種類のバックグラウンドカラーと3種類のフォアグラウンドカラーの4色を表わす。

ビット1	ビット2	ビット3	ビット4	ビット5	ビット6	ビット7	ビット8
4番目のピクセル		3番目のピクセル		2番目のピクセル		1番目のピクセル	

これらのデータは、走査線に沿って配置される。走査線は2つの記憶エリアを交互に使用する。偶数ラインは下位の8Kのバンクに記憶され、奇数ラインは上位の8Kバンクに記憶される。下図参照。

機能：	アドレス境界：
	B8000h
偶数走査線 (0,2,4,……,198) 8,000バイト	
	B9F3Fh
未使用メモリ	
	BA000h
奇数走査線 (1,3,5……,199) 8,000バイト	
	BBF3Fh
未使用メモリ	
	BBFFFh

図13-2　CGA中間解像度におけるグラフィックスデータ格納場所の配列

この特殊な構成は、すべてのグラフィックスソフトウェアおよび言語が自動的に処理するため、ユーザーの負担にはならない。

出力

ビデオディスプレイをCGAに接続するのに3種類のコネクタが使用できる。使用するコネクタは、接続先のディスプレイの種類によって決まる。

推奨ディスプレイは、9ピンDsubコネクタを介してTTLデジタル入力を使用している「IBM 5151型パーソナルコンピュータ用カラーディスプレイ」である。個別のオンオフデジタル信号が、それぞれのカラー電子銃(赤、緑、青)、輝度ビット(3つのすべての電子銃を同時に高輝度にする)、水平同期、垂直同期、および接地用に用意されている。このピン配列を図13-3に示す。

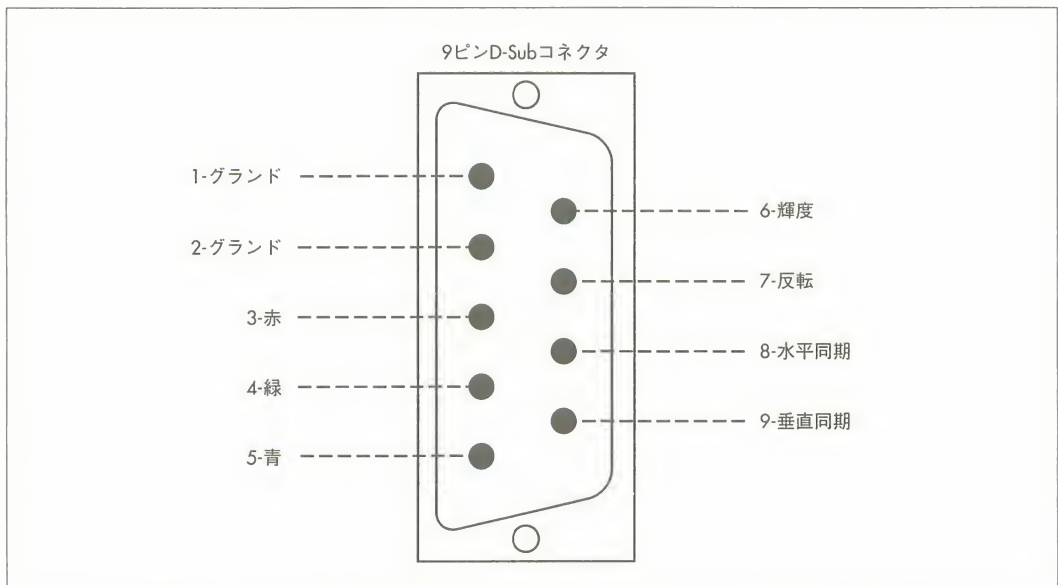



図13-3　CGA RGBインターフェイスピン配列

これらの信号は、垂直同期信号以外はすべて正論理である。つまり、ハイのデジタル信号はそれが制御するカラー電子銃をオンにするか、同期パルスであることを意味する。この方式の接続が普及したばかりの頃には、この構成が開発者に多くの混乱を引き起こしたことがあった。水平同期信号は通常は負だったために、IBMの信号が反対になっているように見えたのである。

CGAのコンポジット出力は、カードのブラケット上にあるRCAスタイルのピンジャックからと、ボードの表面のヘッダの一部から提供される。RCAジャックから提供される信号は、NTSC規格に準拠しているカラーおよびモノクロディスプレイの両方に使用することができる。

カード自体から提供されるコンポジット出力は、RFモジュレータ用である。この1列のヘッダのそれ以外のピンは、RFモジュレータの動作に必要な電圧を供給している(図13-4参照)。

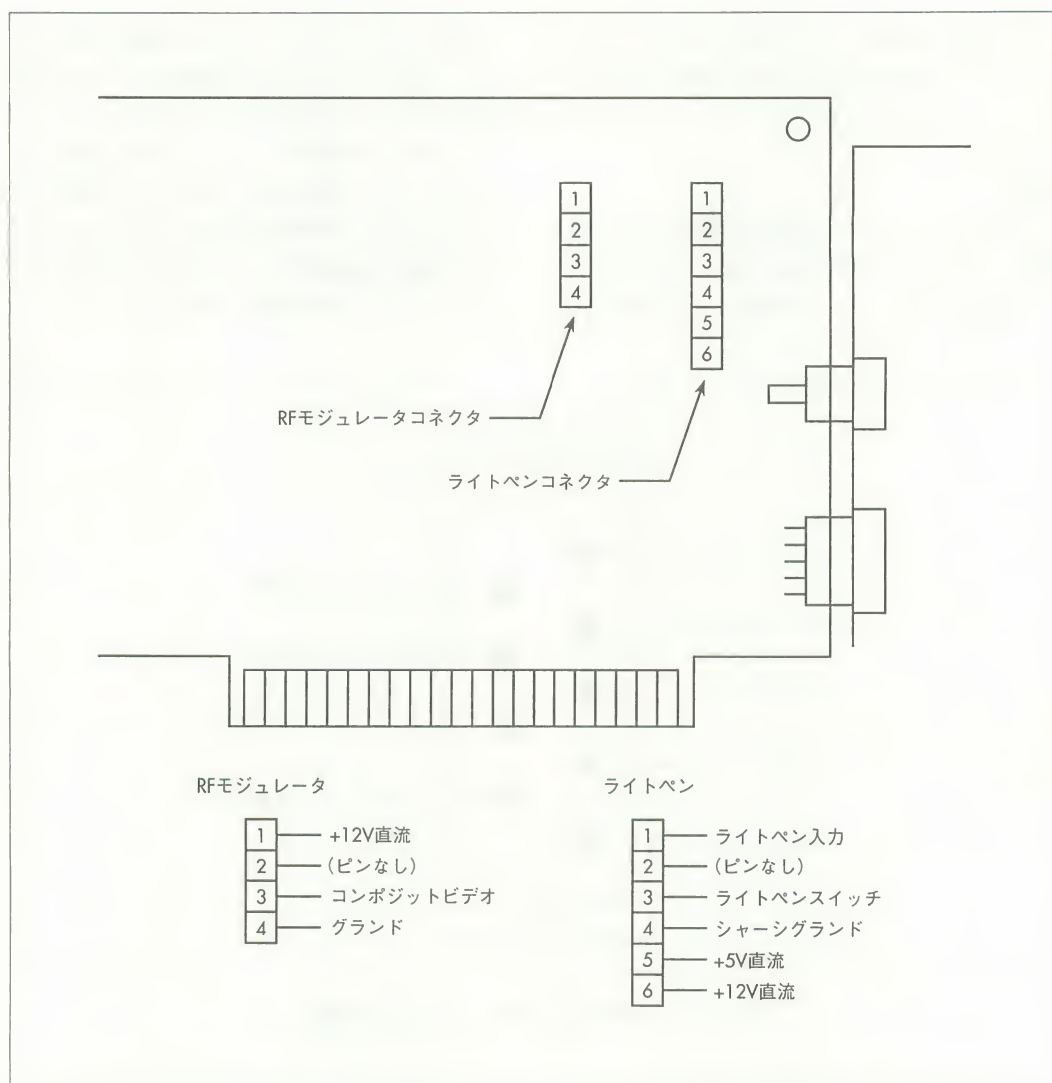



図13-4　CGA RFモジュレータ出力ピン配列

モノクロモード

モノクロコンポジットモニタをCGAに接続すると、画面は垂直線が目ざわりなほどに揺れて、鮮明な色ではなく陰影が現れる。テキストはほとんど読み取ることができないほどである。この不快な表示は、コンポジットビデオ信号の1つである**カラーサブキャリア**に起因している。カラーサブキャリアは、ビデオ信号の帯域幅を制限してモノクロ情報に干渉するため、画面におかしなパターンが表示されるのである。

この問題は、カラーサブキャリアをオフにする**モノクロモード**に切り換えると解決できる。ユーザーは、数値をCGAレジスタにロードすることによってこれを制御できるが、DOSと一緒に提供される「MODEコマンド」を使用すると、さらに簡単に行うことができる。カラーサブキャリアをオフにしたい場合には、次のコマンドを入力すればよい。

```
MODE BW
```

ダブルスキャンCGA

CGAと比較して画面の解像度を2倍にできる現在のVGA解像度から見ると、パーソナルコンピュータの最初のグラフィック表示規格は、新しいハードウェアから取り残されてしまったと考える人がいても不思議ではない。しかし実際には、CGAグラフィックスにのみ対応できる新型マシンが相次いで登場している。これらのシステムのほとんどすべてはモノクロで、通常CGAの640×200ピクセルより高い解像度を実現している。一般にこれらのグラフィックシステムは、LCDパネルを採用しているラップトップおよびノートパソコンに見られる。

これらのディスプレイシステムは、CGA画像の**ダブルスキャン**を採用することによって、CGAグラフィックスより高い解像度を実現している。つまり、640×200ピクセルではなく、640×400ピクセルを画面に表示しているのだ。このダブルスキャン技法によって、CGA規格が利用できると同時に、鮮明な画像も手に入れることができる。しかし最も重要な点は、このダブルスキャンCGAによって、高品質のVGAシステムよりも低コストのLCDパネルが利用できることである。画面の行数が少なくなれば、パネル中のピクセル数も少なくなり、製造コストも低く押さえることができるのである。

ダブルスキャンCGAは、単純に二重に走査するだけならばCGA画面と同程度になるに過ぎない。しかし、テキストモードのダブルスキャンシステムは、通常のCGAシステムとは異なった文字生成機構を使用している。ダブルスキャンシステムは、ピクセルをコピーしてキャラクタマトリックスを拡張する代わりに、8×16マトリックスから個々のキャラクタを生成している。つまり、ダブルスキャンのテキスト文字は2倍鮮明になり、現在標準になっている最高品質のディスプレイアダプタが生成するキャラクタの品質と変わらないのである。

このダブルスキャンCGAの欠点は、グラフィックスである。このシステムが通常のCGAアドレス指定方式を維持しているため、そのダブルスキャンがグラフィックスの鮮明さに関しては成果を上げていないのである。画像の各ピクセルが垂直寸法で単純に2倍にされるだけである。この結果として、写真画像の粗い粒子と同様に、640×400ピクセルのディスプレイシステムによって生成されるよりも大きなピクセルが生成される。つまり、通常のダブルスキャンCGAグラフィックスは、旧来のCGAグラフィックスと比較しても鮮明であるとはいえないのだ。ダブルスキャンの利点は、鮮明なテキストが得られることと、グラフィックスにCGAと互換性があることだけに限定される。グラフィックスの品質向上は期待できないのである。

ただし、ダブルスキャンCGAによるグラフィックスの品質を向上できる場合がある。たとえば、AT&Tの「モデル6300」というPC互換コンピュータなどが採用している一部の標準からはずれたディスプレイシステムは、専用モードで600×400の画像を作成している。このAT&Tディスプレイシステム用の一部のソフトウェアドライバは、ダブルスキャンCGAシステムを駆動して、グラフィックスモードで完全な400ラインの品質を実現している。ダブルスキャンディスプレイシステムが利用できる場合には、グラフィックスアプリケーションをAT&Tディスプレイシステムにセットアップして、その効果を見てみる価値はある。AT&Tドライバが動作する場合には、グラフィックスの鮮明度が2倍になるという利益を享受することができる。たとえドライバが動作しないことがわかったとしても、実験に費やす数分間を失うだけのことである。

13.3　Herculesグラフィックス

CGAディスプレイシステムは、その方向性は正しいが、2つの大きな欠点があった。それほど鮮明ではないこと、そして、グラフィックスをパーソナルコンピュータに追加したい場合には、ビデオアダプタと新型モニタの両方を購入しなければならないことである。後者の必要性は、モノクロシステムに投資したばかりだったり、カラーが必要でないユーザーには特に腹立たしいものだった。完全に良好で鮮明なテキストベースの画像システムが利用できるのに、グラフィックス用にディスプレイを再び購入することは、少なくともCGAおよびカラーディスプレイを販売している人は例外として、納得できないものに思われたのである。

Kevin Jenkinsが率いるHercules（ハーキュリーズ）Computer Technology Inc.は、これに対して完全と思われるようなソリューションを開発している。その優れた性能ゆえ、それはIBM自身の手によらないものとしては初めての汎用ビデオ規格になっている。

Herculesグラフィックスカード（HGC）は、ビットマップグラフィックスをキャラクタマップのMDAに追加するという触れ込みのソリューションだった。しかし、Hercules社には、Lotus Development Corporationから「1−2−3」でサポートを受けるという先見の明があった。パーソナルコンピュータで最も人気があるプログラムの「1−2−3グラフィックス」は、これ以降長期にわたって、HGC購入の正当性の後ろ盾となっている。

HGCの互換性

HGCの基本は、MDAの完全なエミュレーションだった。機能的な面から見ると、この2つのボードはテキストモードではまったく同様に動作し、まったく同じケーブルおよびディスプレイを使って、同じ周波数で動作した。キャラクタは、720×350ピクセルのフルスクリーン解像度、18.1kHzの水平同期周波数、50Hzのフレーム周波数からなる画面に、同じ9×14ピクセルのドットボックスを使って生成された。下線、点滅、高輝度、反転表示などのIBM MDAの属性はすべて、このHGCによってサポートされている。またHGCは、MDAと同様に03BChをベースアドレスとするパラレルプリンタポートさえ備えていた。

HGCは、MDAハードウェアおよびそのテキストモードソフトウェアと互換性があるが、IBMグラフィック規格との間では互換性がない。HGCのサポートが必要な場合には、アプリケーションを特別に作成しなければならない。CGAおよびそのほかのIBMグラフィック規格に対して作成されたプログラムは、このHGCサポートなしでは、HGC上で正しく実行しない。

HGCのメモリ構成

HGCが際立っている点はそのメモリ構成にあった。MDAの4Kバイトとは対照的に、HGCには、それぞれ0B0000hおよび0B8000hのベースアドレスの、つまり、MDAおよびCGAの両ボードに割り当てられた範囲を占める、2つの連続した32Kバイトのバンクで機能的に構成された64Kバイトメモリが装備されていた。

HGCがサポートしている各種のビデオモードのおかげで、このメモリは複数の目的に使うことができた。テキストモードでは、最大16ページのテキストページに当てることができた。また、グラフィックスモードでは、2ページのフルスクリーンの高解像度モノクロ画像に十分なメモリ容量になっている。

メモリのオーバラップ

Herculesモノクロシステムの1つの問題点は、その64Kバイトが大き過ぎて、モノクロメモリに確保されている32Kバイト空間に収まらないことだった。したがって、カラー領域にオーバラップするため、同じシステムにCGAボードが接続されていると、衝突する可能性があった。

Hercules社による解決策は、ソフトウェアス

イッチによって制御し、CGA との両立性を確保することだった。デフォルトの起動モードでは、HGC はメモリの半分、つまり 0B0000h のベースアドレスから始まる 32K バイトだけをイネーブルにすることによって、衝突を防止する。入出力ポート 03BFh にあるソフトウェアコンフィギュレーション切り換えレジスタに値を書き込むことによって、HGC はそのメモリの両バンクを使用できるように切り換えることができる。つまり、このポートにあるレジスタの 2 番目のビット（ビット 1）に 0 を書き込むと、メモリの 2 番目のバンクが使用禁止になる。一方、1 を書き込むと、2 番目のバンクが使用可能になる。

HGC.COM と呼ばれる特殊なプログラムが、ボードと一緒に供給されている。その〝FULL〟オプションを使ってこのプログラムを実行すると、HGC のフルメモリが使用可能な状態になる。一方、〝HALF〟オプションを使うと、上位バンクがオフ状態に切り換えられる。後のソフトウェアは、この切り換え処理を Hercules グラフィックス用に設計されたドライバに組み込んでいる。

Hercules グラフィックス規格

グラフィックスモードで、HGC は画面上の解像度を 720×348 へとわずかに変更している。1 ビットが各ピクセルに割り当てられ、属性は持っていない（ピクセルのオンオフのみ）。画面の 8 連続ビットに 1 バイトが割り当てられるため、720 ピクセルの 1 行に 90 バイトが割り当てられている。各バイトの最上位ビットが、このバイトに格納されている最左端のピクセルに対応している。

ただし、行は画面上の表示順と同じ順序でメモリに格納されているわけではない。メモリ中の連続した行は、画面上に別々に表示される。要するに、画面は 4 つのフィールドに分割されており、各フィールドから 1 行ずつをメモリに割り当て、続いて各フィールドの 2 行目がメモリに割り当てられ、以下の行が同様に続くのである。

グラフィックスモードへの切り換えは、データをソフトウェアコンフィギュレーション切り換えレジスタに書き込むことによって行われる。入出力ポート 03BFh に位置するこのレジスタの先頭ビットが、モードを制御している。つまり、ここに 0 を書き込むとグラフィックスモードが使用禁止状態になり、1 を書き込むとグラフィックスモードが使用可能状態になる。

13.4 拡張グラフィックスアダプタ（EGA）

1984 年までには、CGA システムの欠点は誰の目にも明らかになっていた。読み取り困難なテキスト表示と目の粗いグラフィックスが、眼精疲労を起こさせていたのである。

これに対する IBM からの回答は、新しいビデオアダプタをベースにした、**拡張グラフィックスアダプタ（EGA）**であった。この新システムは、各種の機能強化を図っていた。まず、画面の解像度を向上させている。濃い緑色の IBM パーソナルコンピュータディスプレイなどのモノクロディスプレイでも、グラフィックスを表示可能にしている。また、PC および XT に組み込まれた既存の ROM ベースのビデオサポートを拡張する BIOS ルーチンを追加している。

EGA は、CGA とバックワードコンパチビリティを維持して設計されているため、旧式のディスプレイシステム用に作成されているプログラムも、この新ボードで正常に動作する。ただし、EGA が提供する鮮明な画像には高周波数信号が要求されるため、まったく新しいスタイルのモニタが必要になった。

長期的に見た場合に、EGA は中間ステップであることがわかった。つまり、優れたアダプタではあったが、十分とはいえなかったのである。3 年

間の全盛期を過ぎると裏舞台へ追いやられ、現在はVGAシステムの少数の表示モードとして生き残っている。EGA製品に対するサポートおよび製品自体は、現在はもっと高い解像技術が簡単かつ低コストで利用できるために消えつつある。

EGAの解像度

EGAがパーソナルコンピュータの世界に貢献した重要な改善に、IBMの対応モニタである拡張グラフィックスディスプレイ上で実現した鮮明な画像がある。EGAは、解像度を640×350ピクセルまで押し上げ、8×14ドットのボックスにキャラクタを生成した。EGAのドットボックスは、MDAが使用したものよりも1ドットだけ狭かったが、各キャラクタは同じ7×9マトリックスから生成されていた。さらに重要なことは、EGAでは画面上で行間に十分な余白があるため、上に突き出る形の文字(b、d、f、h、k、l)と下に突き出る形の文字(g、j、p、q、y)が接触しないことである。最終的に、カラーテキストもモノクロと同程度に読み取れるようになった。

また、EGAシステムは、その640×350の解像度をグラフィックスにまで拡張している。それまでIBMがサポートしていたグラフィックスモードもすべて、VGAの能力の範囲にあったため、全体としてCGAグラフィックスと互換性をもつことができた。

EGAの周波数

EGAで増加したドットをビデオ信号に変換するために、IBMは、このシステムが使用する水平走査周波数を拡張しなければならなかった。CGAのテレビ互換の水平走査周波数である15.575kHzではなく、EGAは23.1kHzを採用している。ただし、画像フリッカを最小限にするために、EGAはCGAの60Hzフレーム周波数をそのまま採用している。

EGAのカラー

さらに注目すべきは、EGA規格が実現したカラー機能の強化だった。アダプタ／ディスプレイ間のインターフェイスを変更することによって、EGAシステムの使用可能なパレットは64色まで増えている(モノクロのときは各色に対応するグレーの階調を持っている)。さらに、EGA規格のメモリ容量が増加したため、もっと多色の虹なども高解像度で表示することが可能になっている。その最大の解像度および最大のメモリ容量を駆使すると、EGAは一度に640×350ドットの画面上に、64色のパレットから16種類の階調を表示することができる。

EGAのモノクログラフィックス

また、EGAは、IBMの世界で支配的であった2つの規格方式を無用にするような設計になっている。EGAアダプタは、カラーおよびモノクロの両ディスプレイを適切に扱うことができた。パーソナルコンピュータの上部を開かずに、カードのブラケットの切り込みを通してアクセスできるように手際よく配置されたDIPスイッチを設定すると、EGAは任意の標準IBMディスプレイに適合することができる(ただし、コンポジットモニタはこれに含まれていない。EGAにはコンポジット出力がないからである。繰り返しになるが、IBMがパーソナルコンピュータ用のコンポジットディスプレイを製造したことはない)。

さらに重要なことは、モノクロディスプレイのサポートがグラフィックスまで拡張されたことである。EGAは、IBMの最初のモノクログラフィックス規格を提供している。ただし、IBMは我が道を進んで、Herculesグラフィックスカードが採用したグラフィックス規格には見向きもしなかった。その代わりに自社の規格を選択した。この規格はEGAカラーグラフィックスとの間で互換性があるため、EGAモノクロおよびカラーグラフィックスの両方と互換性のあるプログラムを作成する場合であっても、特別な作業が要求されなかった。Hercules規格を採用したら、EGAのカラーグラフィックスおよびモノクログラフィックスに対して、別個のコードを作成しなければならなかったと思われる。

EGAのメモリ構成

EGAが導入された時点では、IBMの初歩的な

BIOS ルーチンを使用することから生じる速度の低下に我慢できずに、データを直接ビデオメモリに転送するアプリケーションが多数作成されていた。EGA で、使用するメモリ構成が変更されたことによって、アダプタはこれらの既存アプリケーションと互換性が維持できなくなっている。

また、EGA の設計者は別の問題にも直面した。色数および解像度の向上には、自動的により多くのメモリが必要になる。ビデオ情報の保持に 8088 マイクロプロセッサのアドレス範囲内の、限られたアドレス範囲を割り当てることができれば、このことは問題にならない。

IBM による解決策は、EGA をバンク切り換え型メモリカードにすることだった。そのビデオメモリは、4 つのプレーンに分割され、これらが交互に 8088 のアドレス範囲に切り換えられるようになっている。

標準（最小）構成では、EGA には 64K バイトの RAM が搭載され、これが 4 つの 16K バイトのバンクに分割されていた。ホストシステムにとって、EGA で拡張されたモードやバンク切り換えを使っていない場合には、CGA ボードと同様に扱われる。

この 64K バイトは、EGA のワイドパレット、高解像度モードには十分でなかった。このため IBM は、メモリ拡張用のドータカードを使って 256K バイトまで拡張した。EGA メモリの拡張分は、カードの各バンクに等分に振り分けられたために、最大構成で、4 つのバンクはそれぞれ 64K バイトになった。

EGA ボードのメモリは、ビデオメモリに直接書き込みを行うプログラムとの互換性を維持するため、CGA または MDA のベースアドレスに切り換えることができる。ただし、EGA モードでは、ボードメモリのベースアドレスは 0A0000h へと下方にシフトされる。結果として、ビデオメモリの 64K バイトから 256K バイト全体に対して、ホストのマイクロプロセッサが常時アクセスできるとは限らなくなり、画面メモリに直接書き込むためには、プログラマ側に努力が要求されることになった。一方で、この代替案も支持できない。つまり、256K バイト全体のアドレス範囲をフレームバッファに使い切ると、上位の DOS メモリがほかの用途（EMS などで、これも偶然であるがバンク切り換えシステムである）にはほとんど残らなくなる。このアドレス拡張による解決は、XGA が導入されるまで、ほかのすべてのディスプレイシステムにとって主流になっていた。

EGA のインターフェイス

EGA は、MDA および CGA が採用していたデジタル信号形式を踏襲していた。追加のカラー機能に対応するために、CGA での結線方法から、一部の接続を変更し、2 つの接続を追加している。各カラー電子銃には 2 信号、つまり CGA 上で使用されていた個別のドライブ信号および個別の輝度信号が与えられた。3 つの電子銃すべてを 1 つの輝度信号によって制御せずに、各電子銃は独立して高輝度にすることができた。各電子銃に供給される 2 ビットのデジタルコードによって、高輝度オフ、高輝度オン、2 つの中間輝度の 4 輝度が可能になった。1 つの電子銃あたり 4 レベル×3 つの電子銃の組み合わせによって、各種の組み合わせの中から 64 色を発色することができる。

すべての IBM モニタとの互換性を維持するために、EGA はそれまでのビデオアダプタと同じコネクタ、つまり 9 ピン、メス型 Dsub コネクタを採用した。その信号ピンの定義は、ボードに接続されるモニタのタイプに基づいて、セットアップ DIP スイッチによって制御された。完全な互換性を図るために、モノクロおよび CGA 互換のカラー方式は、MDA および CGA の規格と正確に対応している。EGA ディスプレイに関していえば、CGA 輝度ピンは、緑色の電子銃に対する輝度信号に使用されていた。追加の輝度信号が、赤および青の電子銃に追加されている。ピン配列に関しては、**図 13-5** を参照のこと。

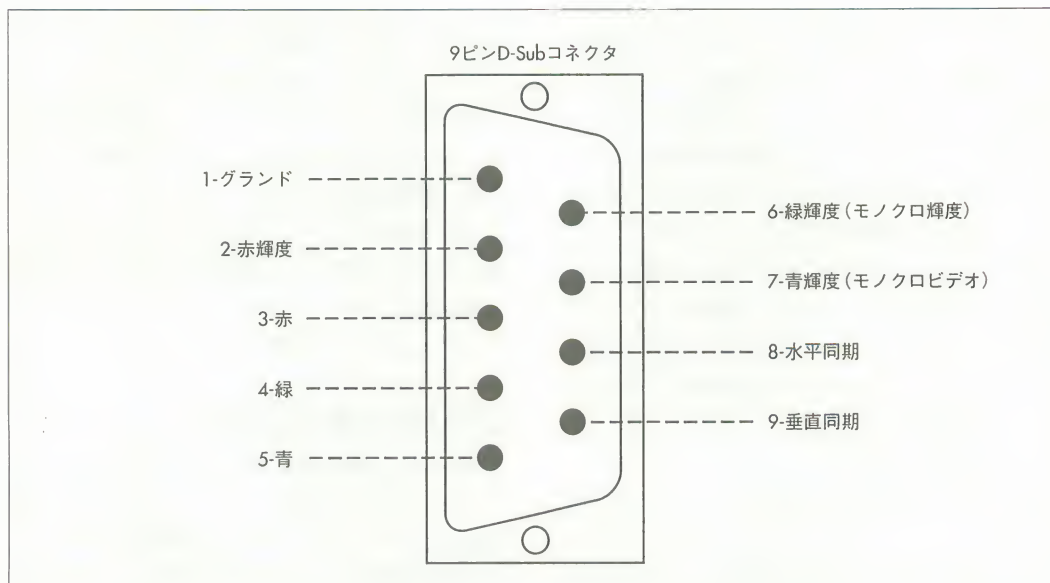



図 13-5　EGA のピン配列

EGAモニタの互換性

EGA アダプタは、接続するディスプレイのタイプを判断できないため、ユーザーが、使用するディスプレイに適合するように正しく設定しなければならない。そうしないと、モニタの損傷を招くおそれがある。モノクロ型の IBM パーソナルコンピュータに長時間誤った同期信号を供給すると、モニタを永久的に損傷する可能性がある。ディスプレイアダプタとモニタが一致していないと、多くの薄い横線が交差する、画面が空白または判読できない、モニタ内部から高周波の雑音がするなどの兆候が現れる。ディスプレイシステムに接続した時点で、この種の徴候が現れた場合には、ただちにパーソナルコンピュータの電源を切って、モニタおよびディスプレイアダプタの互換性をもう一度チェックする必要がある。

一方、EGA 以前に導入された IBM のカラー／モノクロ型ディスプレイに関しては、事態は深刻である。幸い、IBM の拡張カラーディスプレイは、接続先が EGA ディスプレイか CGA ディスプレイかを判別して、自動的に調節され、正しい同期周波数に対応することができる。ただし、信号の周波数を判断するのではなく、EGA ディスプレイは水平同期信号の極性を調べる。水平同期が正である場合には、モニタは 15.575kHz の同期周波数で動作する。一方、水平同期が負である場合には、ディスプレイは 23.1kHz に切り替わる。

EGAとほかのディスプレイアダプタの互換性

IBM のやりかたでは、システムに 1 台のモノクロディスプレイ、1 台のカラーディスプレイ、または各タイプのディスプレイの 1 台ずつ接続できるが、同じタイプのものを複数接続することはできない。たとえば、コンピュータに 1 つの CGA と 1 つの MDA の合計 2 台は追加できるが、2 つの CGA を同時に使用することはできないわけだ。これは、両方の CGA が自分のメモリを同じアドレスに確保しようとするためである。一方で、モノクロシステムとカラーシステムは、別々のメモリアドレスを使用している。

EGA もこの基本思想を踏襲している。カラーディスプレイを操作するように EGA をセットアップすると、MDA ボードと共存できる。EGA をモノクロアダプタとしてセットアップすると、CGA をシステムに追加することもできる。ただし、た

とえ一方をモノクロとし他方をカラーとしてセットアップしても、2つのEGAを追加することはできない。これらのBIOSコードおよびメモリ割り当てが衝突するからである。EGAボード上のジャンパスイッチを使用するとそのベースアドレスは変更できるが、この代替アドレスはIBMのEGA BIOSコードではサポートされない。

EGAのアドレス指定

互換モードを持つEGAは、セットアップの仕方によって、MDAかCGAであるかのようにシステムには見える。プログラムにはEGAが動作していることがわからないように、そのメモリに割り当てられたロケーションに一致するように、装置フラグの設定さえ行う。ビデオメモリを直接アドレス指定する単純なアセンブリ（または高水準）言語のプログラムは、**互換モードで実行するという条件付きで**、EGAで正しく動作する。

ただし、EGAで追加されたグラフィックスモードでは、ページレジスタをトグルしない場合には、なぜか、4ページ中の1ページしかアドレス指定できないことに驚かされる。幸い、EGA BIOSおよび大半のアプリケーションは、この処理を自動的に行ってくれる。

13.5 ビデオグラフィックスアレイ（VGA）

ディスプレイをパーソナルコンピュータのオプションにするという本来のIBMの方針には、論理的な根拠と非論理的な根拠があった。一部のビデオシステムが特定のアプリケーションによく適している点で、その方針には意味があった。分離型ディスプレイアダプタのおかげで、複数のビデオシステムをいろいろと組み合わせて使用することができた。また、これによって、サードパーティからのアドオンビデオ製品に巨大マーケットが創造されると同時に、アップグレードマーケットが育成された。この分離型ディスプレイアダプタは、新しい規格が成長したり、予算に余裕ができた時点では取り外して交換することができる。

ただし、内蔵型ビデオは多くのアプリケーションでは論理的な選択になっている。「PC Portable」（そのディスプレイシステムは、実際にはシステムボードに組み込まれていない）、「ラップトップConvertible」（本質的に組み込まれている）などの携帯型コンピュータでは、持ち運びが便利になるように、ディスプレイおよびコンピュータシステムの完全な統合が求められる。また、一体型にすることは、思わぬ便宜をもたらす。システムが1つの大きな箱（2つの場合もあり、1つはモニタ用となるが、少なくともすべてが1回の出荷で搬送される）に入って1台の装置として届くため、これには何の判断も技術上の専門知識も要求されないという利点があるのだ。

さらに、拡張ボード、インターフェイス回路、追加の開発コストなどが不要となるため、内蔵型ビデオのアプローチは経済的になる可能性がある。IBMが「PCjr」などのローエンドマシンを最初に構築しようとしたときに、専用のビデオ回路をシステムボードの一部として組み込んでいる。分離型ディスプレイアダプタの時代でさえも、大半のパーソナルコンピュータは、ディスプレイシステムが実装された形で売れることをIBMは発見している。コストを削減して顧客に望むものを提供するという観点から、IBMは第二世代のパーソナルコンピュータであるPS／2ラインのマザーボードに、基本的なディスプレイアダプタ機能を移している。

内蔵型ビデオの陳腐化を食い止めるために、IBMは新しいマザーボード表示回路を拡張可能となるように設計している。つまり、その設計の一部として、改良されたディスプレイシステムに接続するための仕組みが組み込まれているのである。さらに重要なことは、ボード上の回路がアドオンと協調して動作できるため、一体型でないシステム

よりも、ディスプレイに要するサポートコストを削減できる可能性があることである。

さらに、IBMは、新しいディスプレイシステムを、モニタオプションを制限しないように設計している。低予算で作業を始めたい顧客はモノクロモニタを、けばけばしい画像を希望する顧客はカラーモニタが採用できるようにしている。ハードウェアを購入する時点で、またはソフトウェアを作成する時点で、カラーおよびモノクロの非互換性についてあれこれ悩むことがないように、このシステムは設計されているのである。

IBMの改善されたディスプレイ戦略の柱は、**ビデオグラフィックスアレイ**(VGA)で、これはすべてのマイクロチャネルPS/2に取り入れられ、現在のほとんどすべての互換機に組み込まれている。IBMは、少数の低コストの非マイクロチャネルPS/2では、**メモリコントローラゲートアレイ**(MCGA)と呼ばれるVGA技術のコスト削減バージョンを組み込んで節約している(MCGAは**マルチカラーグラフィックスアレイ**の略語でもある)。しかし、VGAを完全にサポートするコストは、これが規格として受け入れられるに伴い下がったため、MCGAはすたれてしまった。

VGAの名称は、PS/2ラインの実現に使用されているVLSIチップから来ている。EGAボード回路の大半(Motorolaの「6845」ビデオチップのエミュレーションなど)は、この1つの論理ゲートアレイチップの中に組み込まれているが、IBMはこれを〝ビデオグラフィックスアレイ〟と呼んでいたのである。このチップ名が急速にシステム全体の名称へと成長したのは、恐らくこの略語のVGAが、CGA、EGAなどの、これより先に使われていた名称に類似していたためであろう。この新しい名称は、それらの論理的な延長線上にあるかのように思われたのである。

実際に、VGA自体は、IBMのそれまでのビデオ規格の論理的な延長線上にある。それまでのビデオモードを組み入れると同時に、これらを新しい、よりカラフルで、解像度がより高い領域へと拡張している。ただし、VGAは、最善のビデオシステムでも、革命的なシステムでもない。VGA以前に利用できたサードパーティのビデオシステムでさえ、画像をより鮮明に、よりカラフルに表示することができる。現在では、ほとんどすべての互換機が、VGA機能からスタートして、より高い解像度を実現しているSuper VGAディスプレイシステムを組み入れている。IBMでさえも、ハイエンドのハードウェアに対してはより優れたディスプレイシステムを搭載し始めている。ただしこれらでさえ、VGAの設計思想を中核に据えている。つまり、現在では、VGAが新しいパーソナルコンピュータに期待すべき、最低限のディスプレイシステムになっているのだ。また、ほとんどすべてのパーソナルコンピュータは、VGA規格に準拠して作成されているソフトウェアを使用することができる。

VGAのグラフィックス解像度

それまでのIBM製品と同様に、このVGA規格は各種のモードで複数の解像度レベルを組み込んでいる。ただし、VGAはこれまでのいずれよりも多いモード、つまり全体で17のモードを提供している。それまでのIBMビデオシステムとは違って、テキストおよびグラフィックスの各モードで提供される最高の解像度が異なっている。

グラフィックスモードに関していえば、このシステムが生成する最も鮮明度の高いビットマップカラー画像は、256Kバイトのパレットから選択できる16色を同時に発色する一方で、640×480ピクセルの解像度を実現している。同じレベルの解像度は、2色(モノクロ)モードでも利用することができる。

640×480ピクセルの解像度は、EGAアダプタが提供した640×350ピクセルと比較すると取るに足らない改善のように見えるが、新規格には長所がある。つまり、鮮明度が顕著な長所である。VGA規格は、それまでの規格より鮮明かつカラフルな画像を実現している。

グラフィックスプログラマにとって、水平垂直ピクセルの4対3の関係は、大半のビデオモニタの4対3のアスペクト比を反映していて朗報である。結果は正方形のピクセルであり、すべてのドットが画面上の画像では正方形のモザイクタイルになる。これによって、プログラマは、長方形のピク

セルおよびおかしな形状の図に配慮するために、余分なステップを踏む必要がなくなる。

VGA のテキスト解像度

VGA 規格のテキスト解像度は、グラフィックスモードで利用できるものより鮮明になっている。仕様は、16 種類の色（モノクロではグレーの階調）で、720×400 ピクセルを要求している。このモードのキャラクタは、これまでのどれよりも細部が細かく、画面ドットの 9×16 マトリックスから構成されている。これは MDA より 2 ドット、EGA より 1 ドット上回っている。

VGA 規格はディスプレイとしてテレビを使用することを廃止したが、不思議なことに、40 桁モードが生き残っている。この先祖返りのモードを支えている理由は、古いソフトウェアとの互換性である。40 桁ディスプレイ用に作成されたプログラムは、すべてのそれまでのディスプレイ規格と同様に、VGA 規格でも動作する。さらに、新しい 40 桁モードが、360×400 ピクセルの 16 色テキストモードで利用することができる。

ほかの 2 つのテキストモードは、最高解像度を維持し、システムの動作周波数にわずかな変更を加えることによって、画面上に一般的な 25 行ではなく、30 行のテキスト表示を実現している。

VGAカラー

ピクセル数が多くなると、解像度が上がることを意味する一方で、ほかの VGA モードもまた、より大きいカラー表示機能を与えることによって、それまでの規格を改良している。VGA システム上で利用できる広い色彩によって、コンピュータが作り出す画像はよりリアルになった。

VGA 規格は、最大 256 色の同時表示をサポートしている。これらの色は、全体で 262,144 個のパレットから選択することができる。発色可能な色は、カラールックアップテーブル（CLUT）によるマッピングのおかげで、どのパレットからでも選択可能だ。このモードでは、解像度は 320×200 ピクセルに限定される。これは、16 のパレットから 4 つの同時色だけを認めた CGA の中間解像度カラーモードと同等である。発色可能な色数は、VGA メモリの限界、つまりビデオメモリのピクセルロケーションに格納できる個々のビット数に対する限界によって制限される。メモリ容量がより大きいボードは、256 色モードをより高い解像度に発展させることができるというわけだ。

VGA の信号

この広いカラーパレットの実現には、IBM ディスプレイ技術に大幅な変更が必要だった。それまでの IBM システムがデジタル信号を使用したのに対して、この VGA システムはアナログを基に構築されている。それまでは、主流のパーソナルコンピュータ製品になるとはけっして意図されていなかった IBM の「プロフェッショナルグラフィックスコントローラ（PGA）」だけが、パーソナルコンピュータ環境でアナログ信号を使用していた。

アナログに切り換えた 1 つの理由は、単純な計算の結果だった。デジタルシステムが表示しなければならない色が増えると、より多くの制御信号が必要になる（もちろん、システムがディスプレイおよびアダプタの両方を、異常までに複雑にするシリアルデータを使用しない場合である）。必要な信号数は、幾何級数的に増加する。たとえば、CGA の 16 色パレット（つまり 2 の 4 乗の色数）には、4 つの個別の信号（赤、緑、青、および輝度）が必要である。EGA の 64 色パレット（つまり 2 の 6 乗の色数）は、6 個の信号を基本にして構築された。VGA システムの 262,144 色（2 の 18 乗）をサポートするためには、まったくデジタルだけのシステムなら 18 個の信号が必要である。つまり、1 原色あたり 6 つの信号が必要となるのである。これらの信号およびこれを搬送する配線の複雑性を避けて、VGA 規格は、3 本の配線の電圧レベルの変化を利用している。1 本の配線上の 1 つの信号が、各原色に割り当てられている。それぞれの信号は、CRT の電子銃の 1 つに対応している。また、信号の強度がビームの輝度を制御する。

このアナログ方式はケーブルの節約にとどまらない。モニタ回路を大幅に単純化できるのである。デジタルシステムであっても、電子ビームを流れる電力は、表示の時点でデジタルからアナログ形式に変換しなければならない。VGA 規格は、変

換器をモニタでなくビデオカードに実装しただけであるともいえる。

メモリに格納されているデジタルデータをアナログ信号に変換してモニタに表示するために、IBMは、「Inmos 6171S」と呼ばれるワンチップDACを使用することにした。CGAおよびMDAの6845と同様に、このチップはVGA互換ディスプレイアダプタでは一般的になっている。これは、カードメーカーがIBMの設計思想と最大限の互換性を確保しようとしたためである。Inmos DACは、実際は3つのDACが1つになったもので、それぞれが各原色に対応している。さらに、DACにはカラーマッピングプロセスのための**カラールックアップテーブル**が取り入れられている。このルックアップテーブルの値は、DACチップ内部の256個のレジスタに格納されている。

VGAの周波数

それまでのIBMのビデオ規格と同様に、VGAをフルに活用するためには、それまでのIBMシステムが使用していたものより大幅に高い同期周波数で動作する、まったく新しいタイプのモニタが必要である。

解像度が高くなれば走査線も多くなるため、個々の走査線を高速で表示しなければならない。VGA規格では、31.5kHzの水平周波数が必要である。これはCGA規格に要求される約15kHzの2倍、またEGA規格が要求している23.1kHzの50%も高い周波数である。

画像の安定性を増すために、VGAシステムの垂直リフレッシュまたはフレーム周波数も、それまでのIBM規格を上回っている。VGAのフレーム周波数は、ほとんどの表示モードで70Hzであるが、高解像度のVGAグラフィックスモードは、画面により多くのデータを押し込むために60Hzで動作している。フレーム周波数が速くなる結果として、フリッカがテキストモードで見られなくなるはずである。残光時間の短い蛍光体が使用できるため、IBMのモノクロ画面に固有の画像遅延、長引くゴーストなども少なくすることができる。

VGAのメモリ

16色で640×480のグラフィックスを格納するためには、6つのドットプレーンが必要となり、およそ230Kバイトという膨大なメモリが必要になる。PS／2システムのボードに組み込まれているVGAシステムには、230Kバイト以上のメモリ単位として最小の256Kバイトが搭載されている。VGA互換製品の中には、ビデオメモリをさらに大幅に拡張して、1Mバイトにも達しているものも見られる。EGAの場合と同様に、VGA回路でもこのメモリをいくつかの方法でマッピングできる。MDAおよびCGAアダプタと互換性をとるためには0B0000hまたは0B8000hのベースアドレスで、EGAおよびVGAグラフィックスと互換にするためには0A0000hのベースアドレスでマッピングする。

シーケンサレジスタポート03C4hにあるインデックスが、〝02〟に設定されると、この256Kバイトは、64Kバイトの4つのバンクに分割されて、03C5hにあるマップマスクレジスタによって制御される。このレジスタは、システムのマイクロプロセッサが1つ以上のバンクに書き込めるかどうかを制御するものである。

VGAモードにおける各バンク内部のアドレス指定方式は、〝リニア〟になっている。つまり、画面上のピクセルおよび行は、画面上の表示順序と同じ順序でメモリに格納されているのである。

VGAの互換性

VGAシステムは、それまでの規格ときわめて優れたソフトウェアの互換性を持っており、ハードウェアの互換性はきわめて小さい点を特徴にしている。VGAシステムは高い同期周波数とアナログ信号を使用しているため、まったく新しいタイプのモニタが必要である。旧式のディスプレイは1つの例外を除いて、VGA規格には適合しない。多くの(すべてではない)マルチスキャンディスプレイ(次章参照)には、同期周波数およびアナログ入力に十分な許容度があるため、それまでのビデオ規格、VGA、およびさらに解像度が高い規格が生成する信号を受け付けることができるが、アナログ入力のマルチシンクディスプレイがない

場合には、VGAを使用するには新しいモニタが必要となる。一方のソフトウェアにはまったく問題がない。IBMは、VGAシステムに対して、それまでのビデオ規格用に作成されたソフトウェアとのほぼ完璧な互換性を提供している。VGAシステムは、最下位の解像度レベルに至るまで、すべての過去のIBMビデオモードをサポートしている。ただし、フォームおよびフォーマットが最初のものと多少異なる場合がある。たとえば、旧式の200行のビデオモード（320×200や640×200のグラフィックス）では、ディスプレイは400行の速度でダブルスキャンされるため、画像は鮮明に表示されるが、200行のディスプレイ同様にずんぐりした表示になる。

BIOS互換とレジスタ互換

ビデオアダプタのソフトウェアの互換性には2種類ある。その1つの**BIOS互換**とは、あるボードを模倣したボードが、そのボード上のファームウェアに対するソフトウェアコマンドを受け取ったとき、コピー元のオリジナルのボードと同じ応答をするということである。このときビデオBIOSは、ディスプレイアダプタ上のレジスタに適当な値を書き込むという退屈な作業を行う。この作業によって、ビデオBIOSはソフトウェアをビデオハードウェアから切り離す。EGA以降のビデオボードはすべて、インストール時に自分のBIOSコードをホストシステムに追加する。そして、追加分を含めたBIOSがソフトウェアコマンドをハードウェアに適合させる責任を負うのである。このレベルの互換性で、あるビデオアダプタのコードが別のビデオアダプタのコードと、少なくともBIOSに送信されるコマンドのレベルでは同等に動作することが保証される。

IBMの意向は、BIOSレベルの互換性で十分であるということだったが、プログラマがIBMの規定した規則を尊重しないことがある。高い性能を実現するために、プログラマはビデオハードウェアを直接制御するソフトウェアを作成することがあるのだ。この種のプログラムは、ビデオメモリに直接書き込みを行うと同時に、ビデオシステムの機能を制御するレジスタに値を書き込むことさえ行っている。このレベルで書かれたプログラムが正しく機能するためには、ビデオボードのレジスタはすべて、オリジナルのプロトタイプボードのレジスタとまったく同等に動作しなければならない。それが完全である場合を**レジスタレベル互換**といい、あるビデオボードに対して作成されたプログラムすべてが互換ボード上で動作するということが保証される。

IBMのVGAシステムは、EGAボードとの間ではレジスタレベルの互換性を、CGAおよびMDAボードとの間ではBIOSレベルの互換性を持っている。サードパーティベンダーの製品に要求される互換性はこれですべてである。この種の製品がEGAまたはVGAとの間でレジスタレベルの互換性を欠く場合には、製品がクラッシュしたりまったく動かないなどの問題に直面することになる。サードパーティメーカーが作った初期のVGA互換のディスプレイアダプタは、VGA規格とのハードウェアの互換性の点でしばしば問題を起こしていたが、最新のボードは問題なくこれをクリアしている。現在のVGA互換のディスプレイアダプタは、どんなVGAソフトウェアとも良好に動作している。

VGA補助ビデオコネクタ

PCバスコンピュータ用のVGAボードを提供しているサードパーティメーカーにとって、VGA規格との完全な互換性を持つためには、レジスタレベル互換のほかにさらにもう1つの互換性が必要である。つまり、**VGA補助ビデオコネクタ**と呼ばれる、IBMのマイクロチャネル拡張バスに対する拡張部分の複製が必要なのである。多くのVGA互換ボードでは、このコネクタは**VGAフィーチャコネクタ**と呼ばれている。この特殊な接続によって、アドオンアクセサリは、VGA回路と信号および制御を共用することができるようになる。アドオンアクセサリはVGAをオフにし、ビデオ出力を自分の出力とすることさえできる。

このエッジコネクタは、通常はほとんどのVGA互換ディスプレイアダプタに付いている。パーソナルコンピュータに高解像度の補助ディスプレイシステム（8514／A互換ボードなど）を追加する場

合には、このコネクタが必要になる。実際、このコネクタのないディスプレイアダプタは、VGAハードウェア互換とは呼べない。

この設計から派生してできたのが**VESAフィーチャコネクタ**である。VESAコネクタはVGAフィーチャコネクタと同じ信号が含まれているが、VGAのエッジコネクタではなくピンコネクタを採用している。このため、VGAフィーチャコネクタを前提に作られた製品は、VESAフィーチャコネクタに接続することはできない（この反対もやはり不可）。2つの規格は、それぞれ専用の接続ケーブルが必要である。補助ビデオボードをパーソナルコンピュータのVGAボードに接続する必要がある場合には、どちらのタイプの拡張コネクタを使用しているか確認する必要がある。

VGAのカラー／モノクロ統合

それまでのIBMのビデオ規格は、モノクロとカラーの間に一線を画していたが、VGAは両方に対応するように設計されている。これは2つを1つの製品に統合するというIBMの漸進主義の傑作である。MDAおよびCGAは独立型のシステムとはまったく互換性がない。EGAはモノクロとカラーどちらでも機能するが、DIPスイッチが適切にセットされていなければならない。間違ってセットされていると、ディスプレイを損傷する危険がある。VGA規格では、損傷の危険もなく、さらに適切な動作が保証された形で、1つの信号をモノクロまたはカラーのVGAディスプレイに接続することができる。

この秘密は、VGAインターフェイスに追加されている特殊な信号にある。この信号はディスプレイからのフィードバックで、VGA回路に接続先がカラーディスプレイかモノクロディスプレイかを教えるものである。VGAモニタは、カラーかモノクロのどちらか適切な信号を送るように設計されている。

VGAモノクロ動作

VGA回路は、モノクロディスプレイを検知すると、各カラーの電子銃に対して個別の3つの信号を送出する代わりに、ディスプレイが輝度の制御に使用する緑信号だけを送出する。もちろん、VGAシステムのカラーレパートリーは、この動作によって制限されるわけだが、VGAは、この色を最大64段階のグレー階調に変換することによって補償する。緑信号はDACの6ビットの緑チャネルによって上限が決められる、2^6の段階の輝度を処理することができるわけだ。

VGAの垂直利得

VGAシステムは、350本(MDAおよびEGA互換モード）、400本（ダブルスキャンのCGAモード）および480本（新しいVGAモード）の3種類のライン数を持つディスプレイを表示させることができる。ほかの点がすべて等しければ、行数の少ないディスプレイは、行幅は一定のままで（視点の位置によっては幅が大きくなる）全体の高さが短くなる。このため、EGAスタイルの表示は画面上では25%以上も短く、全体を押しつぶしたような感じに見える。

IBMディスプレイは、VGAから受信した信号のモードに基づいて垂直方向の利得（振幅）を変更することによって、この高さの違いを調整している。この信号だけからビデオモードを判別しなければならない責任からディスプレイを解放するために、VGAはディスプレイに対して、各フレームで送信している垂直線の数を示すコードを送信している。このコードは、垂直および水平の同期信号の極性に含まれている。

このコードは、480行の動作の場合には両同期信号が同時に負になるように決まっている。400行の動作の場合には、垂直同期信号は負に水平同期信号は正になり（400行モードが模倣しているCGAディスプレイの場合と同じ）、350行の動作の場合には、垂直同期は正に、水平同期は負になる。残りの組み合わせ、つまり両同期信号とも正になる組み合わせは予備になっている。

IBMは、行数が異なると各水平線の表示に費やされる時間が異なるという状況に対処するために、2つの方法を提供している。2つのドットクロック（オシレータ）を、それぞれ350行モードおよび400行モードに利用することができるようになっているのだ。480行のグラフィックスは、通常の

VGAの70Hzのフレーム周波数を、60Hzへとわずかに下げて、より多くの行を表示できるように時間の余裕を持たせている。

VGAコネクタ

VGAが生成する信号が、それまでのIBMのディスプレイシステムが生成する信号とまったく違うために、IBMは、間違ったモニタが接続されて有害な結果が生じることのないように、異なる非互換のコネクタを使用することにした。VGAシステムが実際に必要とするのは9つの端子だけだが(IBMが指定するように3つのビデオ信号のそれぞれに専用の接地リターンを提供する場合には11個)、新しいコネクタは15本のピンを持っている。9ピンDsubコネクタとサイズおよび形状はほとんど変わらないが、IBMが採用するまでは、このいわゆる**高密度、15ピンコネクタ**は、一般には入手することができなかった。

図13-6に、このコネクタに対する信号の割り当てを示す。

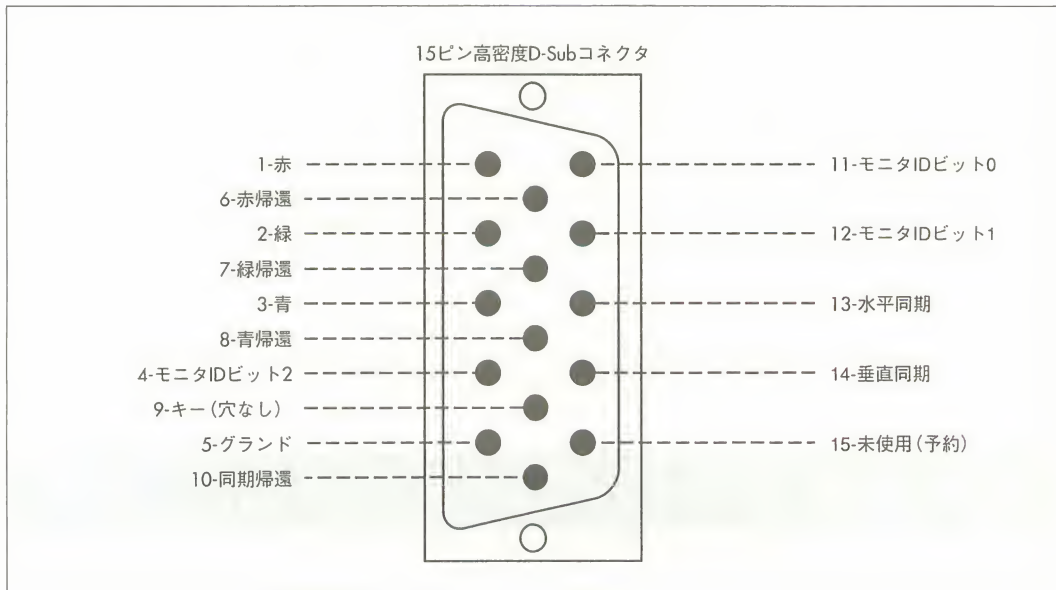



図13-6 VGAピン配列

このコネクタは、現在、IBMのすべてのPS/2ディスプレイシステムと、ほとんどの互換機メーカーにも採用されているため、入手が容易になってきている。

オス型、インライン（ケーブル）コネクタ
クリンプタイプ設置
AMP部品番号 「748364－1」

メス型、インライン（ケーブル）コネクタ
クリンプタイプ設置
AMP部品番号 「748565－1」

AMP Inc.
Harrisburg, PA
800－624－2177

「71325」シリーズコネクタ

Molex Incorporated
2222 Wellington Court
Lisle, IL 60532

312－969－4550

多数のマルチシンクディスプレイは、VGA信号で動作するが、そのようなディスプレイの多くは、EGA規格と互換性のある9ピンコネクタを使用している。これらのディスプレイをIBM規格のVGA接続に接続するためには、アダプタケーブルが必要になる。このタイプのケーブルの配線を図13-7に示す。

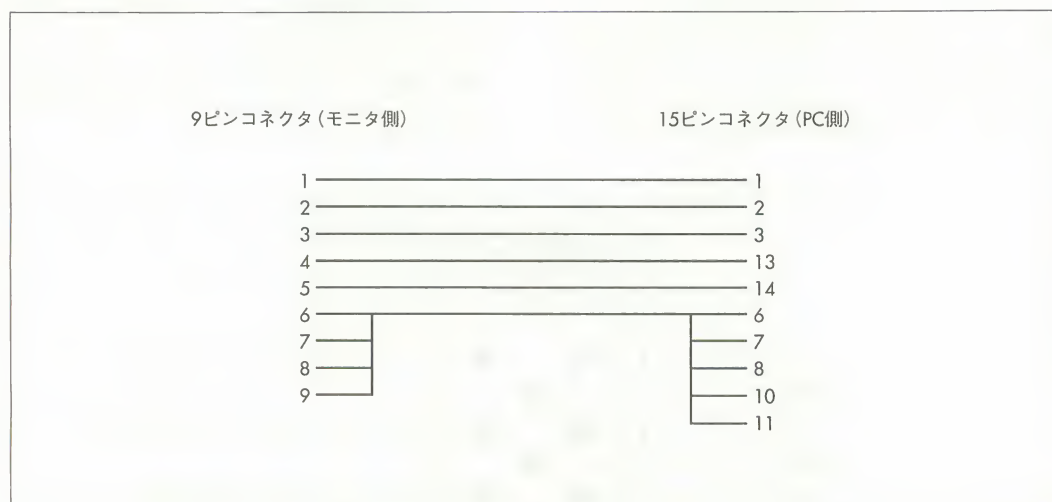



図13-7 VGA用9ピン／15ピンアダプタケーブル

13.6 メモリコントローラゲートアレイ（MCGA）

モデル25や30などのPS／2の下位マシンは、IBMに多くの問題点を投げかけた。その1つがビデオである。このマシンは低コストにこだわって設計されており、実際IBMはモデル25のメモリ割り当てを、最大640KバイトのDOSの容量を512Kバイトにして節約しているほどである。これに対し、256KバイトのRAMが必要なVGAグラフィックスを組み込むことは、コスト削減の目標には反することになる。しかし、別のモニタ規格の採用、または前の規格への後退は、VGAを次期規格として育てるという方針にも悪影響を与えてしまう。

メモリの3／4を占める多くの機能を切り離す一方、ある程度のVGAハードウェア互換性を持たせるために妥協を重ねた結果、ビデオ機能が中途半端になり、それまでの規格よりは良いとはいえVGAには及ばないものとなった。その特徴は過去のIBM規格の混在である。レジスタの構成はEGAと同様だが、ビデオモードはMDAおよびCGAから引き継ぎ、ハードウェアと2つのモードを持っているところはVGAに似ている。ほかによい名前もなかったため、このシステムは**メモリコントローラゲートアレイ（MCGA）**と呼ばれている。

MCGAのテキストモード

CGAと同様に、MCGAシステムには2種類のテキストモードがある。1つは40桁キャラクタ、も

う1つは80桁キャラクタである。テキスト解像度は、VGAハードウェア規格に対応して640×400ピクセルまで引き上げられており、CGAより優れている。キャラクタは、すべてのドットがアドレス指定される8×16のドットボックスの中で形成される。またMCGA回路は、VGAと同様にDACチップを使用しているため、256K色のVGAのフルパレットの中から合計16色を同時に画面に表示することができる。

ただし、ソフトウェアには、MCGAのテキストはCGAのテキストのように見える。CGAと同様に、ビデオバッファに対して0B8000hのベースアドレスが割り当てられているためである。

MCGAのグラフィックスモード

MCGAシステムには、2種類のCGA規格互換モードと2種類のVGA規格互換モードの合計4種類のグラフィックスモードがある。

CGA互換モードでは、中／高解像度のCGAグラフィックスが可能である。320×200ドットおよび640×200ドットの両モードでは、VGA機器との互換性を確保するために、ダブルスキャンを行って400行画面を生成している。ただし、ほかのシステムと同様に、ダブルスキャンによって画像の鮮明度が増すことはない。

中間解像度のCGA互換モードでは、4色が同時に表示でき、それらは256K色のVGAカラーパレットから選ぶことができる。CGAとまったく同様に、代替パレットも（同じレジスによって）選択でき、この代替パレットには、VGAの全レパートリから生成される選択色を登録することができる。高解像度のCGAモードでは、フォアグラウンドカラーおよびバックグラウンドカラー（この2種類だけが可能）を、256K色のVGAのフルパレットから生成することができる。

VGA互換の高解像度グラフィックスモードは、MCGAシステムのメモリ削減の悪影響を多く受けている。利用可能なメモリが64Kバイトに制限されているため、640×480解像度レベルの色選択が必然的にその犠牲になって、結局1つのカラープレーンしかサポートされていない。システムのカラーマッピング機能によって、フォアグラウンドカラーおよびバックグラウンドカラーの両方が256Kバイトのパレットから選択できるが、それだけにすぎない。

VGAの320×200ドット256色モードについては、MCGAシステムは、256K色のVGAパレットからのフルカラーマッピング含め、完全にサポートしている。

MCGAのソフトウェア互換性

MCGAシステムが提供しているBIOSサポートは、CGAシステムが提供しているレベルと同じで、取るに足らないものである。BIOSでは、文字列をテレタイプモードで画面に表示する程度のことしかできない。MCGAは、両方のCGAグラフィックスモードをサポートしているため、IBM規格に沿ったソフトウェアすべてと互換性がある。

MCGAシステムのレジスタ構造は、VGAシステムときわめて似ていて、2種類のVGAグラフィックスモードをサポートしている。ただし、MCGA回路で許されるモード数は少ないため、相違が生じている。

MCGAのハードウェア互換性

ハードウェアの面から見ると、MCGAシステムは、VGAスタイルのディスプレイとVGAコネクタを採用している。このシステムは、カラーディスプレイかモノクロディスプレイかを検知して、出力をそれに応じて再設定することができる。また、同じ同期信号の極性コードを使用して、動作モードが400行モードか480行モードかを通知している。したがって、MCGAシステムは、IBMのPS／2ディスプレイ、VGA互換ディスプレイ、VGA互換マルチシンクディスプレイなど、VGAシステムの場合と同じモニタを使用することができる。

MCGAをVGAにアップグレードする

モデル25および30の設計では、拡張ボードを追加すると、いずれのシステムも完全なVGAグラフィックスにアップグレードすることができる。VGAアダプタをモデル25か30にインストールすると、システムボードのビデオ回路が自動的に

機能を停止し、この拡張ボードがコンピュータの唯一のビデオ出力になる。システムボードのビデオ接続が停止されるため、ディスプレイはVGAアダプタボードのコネクタ部に接続しなければならない。IBMのPS/2ディスプレイアダプタまたはサードパーティの同等アダプタは、モデル25または30のいずれにとっても適当なアップグレードになる。

13.7 Super VGA

IBMは、VGAはパーソナルコンピュータのディスプレイシステムの最終ラインのように考えていたため、VGA設計に対して大幅な改良や変更は行っていない。実際今日まで、VGAは大多数のIBMパーソナルコンピュータで標準ディスプレイシステムになっている。4年後に、IBMは標準機器として改良点を追加する計画を立てたが、これもIBMの製品ラインの最上位に位置する機種に限定されていた。

現実に、標準機器としてのVGAに対する批判はほとんど聞かれない。解像度が高いほうが確実に表示はよくなるが、VGAからの劇的な飛躍は、大半のパーソナルコンピュータに接続している小型モニタの世界では見られることはないだろう。これ以上解像度を高めても、通常の作業距離ではその細部を目で見ることはできないからだ。VGAの解像度は、通常の画面サイズ、通常の視力、通常の距離、そしてこれまでのソフトウェアに対しては十分である。

しかしながら、グラフィックス操作環境、特にマルチタスク機能(OS/2など)や擬似マルチタスク機能(Windowsなど)を使用する環境は、ディスプレイシステムに対する要求が大幅に増加している。複数のウィンドウを画面に設定すると、それぞれのウィンドウで何が進行しているかを知るために、より多くのデータが必要となり、自然な帰結として、可能な限り多くの情報を画面に圧縮して表示したくなる。これに対し、解像度が高くなれば、より多くの情報を画面に表示することができる。さらに、大型画面が入手可能かつ一般的になるに従って、より細かい画像も見えるようになり、より高い解像度が求められるようになってきた。

VGAが初めて登場した時点ですでに、多くの企業はその640×480のグラフィックス解像度を乗り越えようとし始めた。これによって自社の製品にさらなる特長を持たせようとしたのがその動機である。最終的には、より高い解像度モードを追加するにあたって、メモリの追加が必要になることはなかった。設計者は高解像度モードで利用できる色を、16色から4色へと節約したからである。チップセットメーカーは、特別な高解像度モードを自社製品に追加し、ディスプレイアダプタメーカーもこれに追随した。

表13-3は、各種の解像度に必要なビデオメモリのビット数をまとめたものである。

表13-3　ビデオメモリに必要なビット数

解像度	ピクセル	16色 (4ビット)	256色 (8ビット)	1,670万色 (24ビット)
VGA (640×480)	307,200	153,600	307,200	921,600
Super VGA (800×600)	480,000	240,000	480,000	1,440,000
〃 (1,024×768)	786,432	393,216	786,432	2,359,296
〃 (1,280×1,024)	1,310,720	655,360	1,310,720	3,932,160

EGA Plus

VGAから発展したディスプレイの中で、最も一般的になったのが800×600ピクセルの解像度のものである。初期の製品は完全なVGA互換ではなかったため（デジタル信号を使用するものすらあった）、初めはEGA Plusと呼ばれていたが、まもなく、本格的なVGA互換製品の出現と共に、この解像度はSuper VGAと呼ばれるようになった。Super VGAは、より多くのピクセルを画面に表示することによって、VGAより少なくとも50%優れた画像を実現した。ただし、Super VGAは標準化の点では今一つであった。これは、それぞれのディスプレイアダプタメーカーが、高解像度を画面に実現する手法に関して別々のアイデアを競っていたためである。

マルチスキャンモニタは800×600ピクセル以上の解像度を表示できたが、問題がなかったわけではない。規格が異なり、信号のタイミングが異なるために、画像が画面のおかしな位置、つまり過度に画面の左側、右側、上部または下部にずれる傾向があった。走査速度、リフレッシュレートにさえ規格がなかったため、あるマルチスキャンモニタが特定のSuper VGAボードと動作するという保証はなかった。

この状況によっていくつかのことが明らかになった。まず、規格がないとモニタが悪者にされるということである。目に見える問題、つまり画像の配置ミスなどはモニタ画面に現れるため、モニタメーカーが非難の的になったのである。そして、IBMを除いては、いずれの企業にも新しい規格を確立できるほどの市場支配力はないということだ。しかも、当のIBMは、まったく広まらない自社の高解像度規格（8514／A）を擁護することに精一杯で、この責任を放棄していた。Super VGAの解決には、単一の規格が必要だったのである。

13.8 VESA

このような状況の中で、Super VGAの問題に対する最初の解決策はモニタメーカーで実施された。ベストセラーのマルチスキャンモニタ（「MultiSync」シリーズ）を発売していたNEC Technologies社のあるエンジニアが、1987年、キッチンで皿を洗っているときに、1つのアイデアを思い付いた。パーソナルコンピュータのディスプレイシステムに関与しているすべてのメーカーが一同に会して、自社の規格を持ち寄る業界会議の開催を考えたのである。1988年、NECは主要モニタメーカーの多くを招集して、タイミング規格を打ち出し、画像のずれの問題を解決しようとした。この結果が、Video Electronics Standards Association（VESA）の設立である。これ以降、ほとんどすべてのディスプレイアダプタメーカー、モニタメーカー、主要なコンピュータメーカーが、この組織に加盟することとなった。

VESAは、Super VGA信号に対するハードウェア規格を設定するという当初の活動範囲を超えて、ソフトウェア規格も設定することになった。ただし、競合メーカーからなる委員会は大抵そうであるように、VESAにも内紛があった。VESAは、IBMがそれまでのディスプレイ規格に対して設定したような厳格な形では仕様を設定せずに、いかなるメーカーも平等に存在できるように、規格とガイドラインから成る組み合わせを設定した。

800×600の解像度

VESA委員会は、画面のフリッカを最小限にするために72Hzという高いリフレッシュレートの必要性に主眼をおいて、Super VGAに関する規格を設定している。しかし同時に、この種の高い速度で動作できない会員企業の製品にも配慮して、もう1つの〝メーカーのガイドライン〟も設定している。これらの会員企業は、VESA規格の発布前に開発した古い製品の在庫を抱えていたのである。

このガイドラインによって、56および60Hzで動作するSuper VGAシステムでさも、VESAから認可を受けることができた。

確かに、このガイドラインにはほかにも根拠があった。56Hzというガイドラインは、IBMが自社の8514／Aに対して設定した35.5kHz水平同期周波数を処理する帯域幅を有する旧型モニタと矛盾していない。また、60Hzのガイドラインは、合理的なリフレッシュレートを備えた低コストの電子部品の使用を可能にする妥協案になっている。しかし一方で、このように柔軟なガイドラインでは、一定のモニタが高いリフレッシュレートのSuper VGAディスプレイアダプタで動作することが保証されないことになる。ただし、モニタがSuper VGAディスプレイアダプタのVESAリフレッシュレートに対応していれば、このガイドラインによって画像が画面中央に表示されることが保証された。

Super VGAディスプレイアダプタに見られたメーカー間の相違点は、信号タイミングだけではなかった。それぞれが、その高解像度動作を制御する方法、つまり独自の表示モードを持っていたのである。この相違はソフトウェアの問題になる。十数種類もあるボードに対して、個別のドライバを作成しようとはするソフトウェアメーカーはほとんどなかったため、ボードをソフトウェアにリンクするドライバを、各ディスプレイアダプタに対して個別に作成しなければならなかった。

VESAの解決策は、すべてのディスプレイアダプタが共用できる〝幻の〟表示モード、〝6A番〟だった。ソフトウェアがSuper VGAアダプタにこのモードで動作するように要求した場合、ディスプレイアダプタは固有の800×600ピクセルのモードに切り換えて、このモードで矛盾せずに動作するようにトリガする。Super VGAドライバは、VESAディスプレイアダプタにとってまだ万能ではないが、最終的には規格のこの側面の恩恵にあずかることになる可能性がある。

1,024×768の解像度

Super VGAの800×600ピクセルの次に重要な解像度が、1,024×768ピクセルである。VESAは、この解像度レベルにも手を広げ、多数の規格を設定している。

800×600ピクセルにおけるガイドラインおよび規格と同様に、VESAは、ダムフレームバッファシステムでの使用を目的として、1,024×768解像度レベルに関する推奨タイミングを公表している。この規格は、最高のリフレッシュレート（72Hz）でSuper VGAと同じ水平同期周波数を使用することを前提としている。VESAは、Super VGAを超えるより高い解像度レベルに対応する仕様の設定の必要性を感じ、IBMの8514／A（IBMは規格も製品自体もずっと前に断念している）およびXGAシステムに基づいた独立した規格を検討している。そしてこのために、ビデオベンダー各社の技術者間で意見交換を行うフォーラムの開催も行っている。

13.9 8514／A

1987年、IBMは、VGAを超える解像度は、特殊なアプリケーションによってのみ要求されると見ていた。大多数のパーソナルコンピュータユーザーは、640×480ピクセルの配列から生成されるグラフィックス以上のものを求めていなかった。これを超えるグラフィックスを希望するユーザーに対しては、IBMは、固定機能式のアクセラレータ回路を実装した高価な（最初は1,000ドル程度）な専用ディスプレイアダプタを提供した。このアダプタは、IBMの「8514モニタ」に適合するアダプタだったことから「**8514／A**」と呼ばれた。

価格以外にも、この8514／Aには3つの欠点があった。1つは、IBMはこの製品をマイクロチャネルコンピュータでしか使用できないようにした

点である。さらに、アダプタの出力はインタレース方式ビデオ信号であったため、パーソナルコンピュータ業界の大部分、特に、不可避的に生じる画像フリッカインタレースを排除するために必要な、長残光の蛍光体を使用していないモニタメーカーからは、標準規格とするには不十分なものとして見られた。ほかのディスプレイシステムと違って、IBM は 8514／A を動作させる回路を公開しなかったため、このシステムを模倣することはきわめて困難だった。

それにもかかわらず、8514／A 規格は、IBM の高解像度パーソナルコンピュータディスプレイシステムとして、3 年間あまりも生き延びた。そして、クローンメーカーが互換製品を開発していた真っ最中に、当の IBM は新しい XGA システムを支持して、8514／A 規格を放棄してしまった。ただし、8514／A は、XGA システムの一部として採用されている。

8514／A 規格の最も重要な特性は、1,024×768 ピクセルという解像度だった。これにより、VGA と比較して 2.5 倍のデータを画面に表示することができる。VGA システムと同じ DAC を採用しているため、潜在的には 262,144 色使用できるが、メモリ容量の制約から同時に発色できる数は大幅に少ない数に制限されている。

8514／A のメモリ

8514／A では、0.5M バイトのメモリが標準装備されているが、4 ビットの深さの 1,024×768 ピクセル画像にはこれで十分である。このメモリは 4 つのビットプレーンに分割され、各ビットプレーンは 1M ビットの記憶領域で構成されて、16 色を同時に画面に発色することができる。

この構成によって 128K バイトのメモリが予備として残るため、それぞれのビットプレーンでは 256K ビットになる。画面表示に使用されるメモリは、記憶領域の最下位部分を使用している。残りの部分は、領域の塗りつぶしや、ロード可能なキャラクタセットの保持などのような機能の実行に必要なデータを格納するための補助メモリとして使用されている。この追加メモリは 8514／A のメモリの残りの部分とまったく同様に、ホストマイクロプロセッサによって直接アドレス指定できるが、IBM はこの機能をサポートしていない。したがって、これに書き込むと、8514／A が別の目的でここに格納している情報を破壊する可能性がある。

VGA 互換モードでは、8514／A は、その 0.5M バイトを、2 つの独立したバンクで構成されている、4 ビットの深さの 8 つの 1024×512 ビットプレーンに分割している。8514／A のハードウェア設計では、これらのプレーンを 1 つの 8 ビットプレーンに組み合わせることはできない。

8514／A のメモリ拡張

IBM は、8514／A 用の 0.5M バイト RAM の拡張オプションを、ドータカードとして提供している。この追加メモリは、ディスプレイアダプタのカラー機能を強化する設計になっており、その表示色は、8 ビットプレーン、256 色の同時発色に発展している。さらに、この追加メモリを使用すると、8514／A の両 VGA マップとも、8 ビットの深さおよび 256 色の同時発色が実現される。

2 画面操作

8514／A システムは、そのコンピュータホストに組み込まれている VGA 回路から独立して動作する。したがって、一方のメモリを変更する操作が、他方のメモリも変更するとはかぎらない。8514／A が VGA モードにあるときには、2 つの VGA システムの両方に同時に操作が行われる。ただし、一部の操作（パレットのロード、モード変更など）は、8514／A 画面に違った影響を与えて、正しくない色が表示されたり、グレースケールがおかしくなることがある。また、8514／A がその固有のモードにあるときには、2 つの画面は独立して使用することができる。一般に、8514／A で描画を行ない、VGA 画面でテキスト表示を行うことになる。

8514／A の接続

8514／A ディスプレイアダプタは、VGA 規格と同じ高密度 15 ピン Dsub コネクタを共用している。ただし、ピン割り当ては多少異なっている。各色およびそのリターン、垂直同期、水平同期に

提供される個別の信号線に加えて、追加の3本のリード線が、アダプタに接続されたディスプレイを識別するための1本のリード線の代わりに使用されている。

モニタ識別信号は、8514／Aボードにフィードバックされ、これによって8514／Aは接続先のディスプレイのタイプを認識できる。これらの信号のおかげで、8514／Aは、そのコネクタに接続される可能性のある固定周波型VGAディスプレイに、高解像度／インタレース方式信号を送信してしまうようなことがなくなるわけだ。このフィードバック方式によって、ディスプレイとアダプタが適切に機能することが保証され、モノクロディスプレイをCGAアダプタに接続した際に発生する問題を確実に回避できるのである。**表13-4**は、同期信号コードの極性がディスプレイのタイプによってどのように変わるかを示したものである。

表13-4　VGAと8514／Aの同期信号コード

モード番号	モード機能	ライン数	H-Sync.の極性	V-Sync.の極性
1	EGA	350	正	負
2	VGAテキストまたはCGA互換	400	負	正
3	VGAグラフィックス	480	負	負
4	8514／A	768	正	正
ディスプレイコード信号				
IDビット	**8503(モノ)**	**8513**	**8512**	**8514**
0	N／C	0V	0V	0V
1	0V	N／C	N／C	N／C
2	N／C	N／C	N／C	0V

8514／A互換のアダプタ

約3年の開発期間を経て、独立系のチップメーカーは、8514／Aディスプレイアダプタのハードウェア側のクローンを作ることに成功した。初めに、Western Digital社が、本格的なレジスタ互換の8514／Aコントローラチップを製造することに成功した。そして、複数のメーカーはこのチップを使用して、ISAバスに接続できるボードを作った(複数のボードメーカーが先に8514／Aアダプタインターフェイスの互換製品をリリースしているが、完全なレジスタ互換性ではなかった)。これらのハードウェア互換ボードの大半は、ハードウェア互換性が、ディスプレイアダプタ自身だけでなく、システム全体の互換性に影響を与えることを認識していたため、基本規格に改良を加えるという形をとった。インターレース方式のモニター信号はこの規格の最悪の側面だが、ソフトウェアはこの部分とは直接は関係がないため、互換性の問題は回避することができた。

ほとんどの非IBM 8514／Aアダプタは、規格の1,024×768解像度を維持する一方で、モニタ周波数を選択するための機能を備えている。その大半のアダプタは、IBMインタレース方式周波数に加えて、大半は60Hzおよび70Hz(以上)のノンインタレース動作を提供しているのである。インタレースモードでは、IBMの最初の8514およびその後継機種である8515などのデュアル周波数モニタを使用することができる。一方、ノンインタレースモードでは、高いリフレッシュレート(60Hzリフレッシュで48kHz、70Hzリフレッシュで56kHzなど)で動作できるマルチスキャンモニタが必要である。

13.10 拡張グラフィックスアレイ

8514／A 規格の採用に積極的でなかったメーカーもあったが、彼らのこの判断は、1990 年の IBM による**拡張グラフィックスアレイ**の導入によって、結果的に正しいことが判明した。これは一般には XGA と呼ばれている。少数のメーカーが 8514／A アダプタインターフェイスおよびそのハードウェアレジスタの両方に適合するディスプレイアダプタを公表したのと同時に、当の IBM はこの規格を自ら見放してしまったのである。XGA は、8514／A アダプタインターフェイスとだけバックワードコンパチビリティがあった。また、クローンにとっては複製が困難であった 8514／A レジスタは、この新規格からは無視されている。

別の視点から見れば、XGA は、IBM 自身によって 8514／A ディスプレイアダプタに代わるものとして作られたもので、その違いは一見しただけではわからない。現在の XGA は、8514／A と同じ周波数（35.5kHz の水平周波数、44Hz のインタレース方式垂直周波数）で動作し、同じモニタ（IBM の「8515」、最初の 8514 に代わる 15 インチカラーディスプレイ）を使用するように設計されている。また、XGA は、8514／A アダプタインターフェイスを組み込んで、8514／A ソフトウェアとのバックワードコンパチビリティを確保している。また、XGA と 8514／A は共に、マイクロチャネルコンピュータにだけ適合するようになっている。

しかし、XGA は、8514／A にいくつか改良を加えている。たとえば、モニタインタレース方式を強制しておらず、これによって、最終的に IBM は 8514／A 互換ディスプレイアダプタメーカーの仲間入りをするのである。アフタマーケットベンダーは、8514／A 規格を順守しているときには、最大 70 Hz のフレーム周波数で、インタレース方式およびノンインタレース方式の両ディスプレイをサポートしていた。XGA は、IBM が同じ戦略を取ることを可能にしている。

ただし、これらの互換ボードと違って、XGA には 8514／A とのハードウェア互換性がなく、8514／A ボードのレジスタを直接制御するソフトウェアは実行することができない。IBM は、XGA を自分が主導権を有する規格として見ているのに対し、8514／A はグラフィックスコプロセシングの世界でのみ引き続き君臨していくための規格としている。

オープン規格

業界に受け入れられなかった 8514／A の失敗を再び繰り返さないように、IBM は XGA の機能および動作原理を完全公開することによって、これをオープン規格にした。こうすれば、わずかな電子部品と開発資金さえあれば、だれでも 1 年程度という比較的短い期間でこれのクローンを作ることができる。

しかしながら、IBM が最初に製造した XGA システムは、その最たる欠陥箇所であるインタレース方式モニタの採用という点で 8514／A と歩調を合わせていたため、期待外れの声と共に迎えられた。とはいえ、XGA システムには長所もあり、大半の Windows アクセラレータは、その機能の大半を組み込んでいる。インタレース方式は XGA システムでは要求されなかったが、サードパーティの 8514／A アダプタと同様に、XGA システムは、インタレース方式またはノンインタレース方式のいずれのモニタでも動作するように設計されていた。XGA を独占的な規格の地位から解放するために、VESA は委員会（IBM もその一員）を設置して、XGA を、1992 年半ばには達していなかった独立した業界規格にまで発展させている。

コプロセッサ

XGA ボードは、自分専用のコプロセッサを搭載している。これは IBM の独自設計で、Windows および OS／2 のプレゼンテーションマネージャ表示に最適化されたものである。実行できる機能には、BitBlt（ビットブロック転送）、同様のピクセルブロック転送、線の描画、領域の塗りつぶし、

論理と算術の操作、マップマスキング、シザリング、xy軸アドレス指定などがある(対照的に、固定機能型の8514/Aは、CADソフトウェアでの使用を目的としている)。

もちろん、IBMのXGAコプロセッサは、XGAボード設計の必須部分ではない。「TMS34010」シリーズのコプロセッサを使用しているメーカーは、このチップが適当なソフトウェアまたはファームウェアがあればXGAをサポートできると考えている。

ハードウェアスプライト

また、XGAは、豊富な新機能および新モードをパーソナルコンピュータディスプレイに追加する。その1つに、**ハードウェア制御のスプライト**がある。これは、メインのビデオメモリの内容を乱すことなく、メインの画像に重なって表示される64×64ピクセルの画像である。このスプライトは、画面全体を書きなおさなくても、位置決めコマンドを使用するだけで画面上を移動できるため、マウスカーソルのような高速に動く画面要素を移動させる場合に特に有効である。

XGAのモード

XGAには2種類の動作モードがある。1つはVGAボードをエミュレートするモード、もう1つは自分自身の拡張グラフィックスモードである。VGAモードでは、これまでのVGAアダプタとハードウェアの互換性があり、すべてのVGA機能を取り入れている。一方、後者のモードでは、640×480または1,024×768ピクセルの解像度を生成する(いずれの解像度かは、ユーザーのソフトウェアが選択する)。また、XGAは、それぞれ8ピクセル幅のキャラクタを使用して、200本、350本、400本のそれぞれの走査線を持つ132桁テキストモードをサポートしている。

XGAアダプタに含まれるVGA回路は、1つのコンピュータの中で別のVGAアダプタと共存することはできない。IBMでは、このような場合、XGAアダプタのVGA部分をオフにすることを可能にしている。また、1台のパーソナルコンピュータに、最大8つのXGAシステムを搭載することができる。

XGAシステムは、BIOSを拡張するために、連続した8Kバイトのブロックのメモリが必要になるが、このブロックはHigh DOSメモリ領域中の、C0000h〜DFFFFhのアドレス範囲になければならない。このブロックの上位1Kバイトは、コマンドをXGAコプロセッサに送信する場合に使用するXGAの制御レジスタのために確保されている。

メモリ

また、XGAは、ソフトウェアが画面メモリをアドレス指定する上で革新的な手法を取り入れている。実際に、3種類の**アパチャ**と呼ばれているアドレス指定方式がサポートされているが、これらのアクセス性能と使用法は、システムのマイクロプロセッサおよびXGAアダプタが接続されるスロットのバス幅によって決定される。

最も基本的なアパチャは64Kバイトで、これはHigh DOSメモリのベースに位置する最初の64Kバイトのセグメント(A0000hから開始するアドレス)で、標準VGAのアドレス領域に対応している。このアパチャはB0000hから始まる範囲に再配置することができる。その値は、ボード上のレジスタによって設定される。ただし、VGAとは異なり、このアパチャは、ページングによってXGAシステムのすべてのメモリ(最大4Mバイト)にアドレス指定を行う。このアパチャによって、8088および8086のマイクロプロセッサは、それらの限定されたリアルモードのアドレス指定範囲で、XGAメモリを使用することができる。

1Mバイトのアパチャでは、XGAメモリは、拡張メモリの先頭の16Mバイトの範囲内で、任意の1Mバイトに位置することができる、1Mバイトウインドウによって制御する。また、このアパチャは、XGAメモリの4Mバイトすべてにアクセスできるようにページングされる。このアパチャは、80286および386SXのマイクロプロセッサがXGAメモリに簡単にアクセスできるように設計されている。同時に、これは、XGAボードが16ビットの拡張スロットに接続するときに利用できる最大のアパチャでもある。

XGAのメモリは、先頭の16Mバイトより上位の拡張メモリに位置する4Mバイトアパチャによってアドレス指定できる。これによって、386DXまたは486のマイクロプロセッサは、XGAボードの最大RAMに（ページングによらないで）直接アクセスできるのだ。

カラー

完全な下位互換性を確保するために、XGAはVGAシステムの色記憶方式の使用を認めている。VGAと同様に、XGAは、262,144色のパレットから選択される、最大256色の画面同時発色が可能なモードを取り入れている。

一度に画面に発色できる最大色数は、メモリ容量によって決まる。512Kバイトのビデオメモリを搭載したローエンドボードでは、低解像度で256色、高解像度で16色を同時に発色することができる。一方、現在最大である1MバイトのVRAMでは、XGAは、低解像度で65,536色、高解像度で256色を同時に発色することができる。

XGAはVGAおよび8514／Aボードと同じDACを使用しているため、古いボードと同じ262,144色パレットに制限されている。また、XGAは、パレットレジスタを避けて、256の画面色に直接アクセスする、**ダイレクトアドレッシングモード**を取り入れている。

さらに、XGAは、自分専用の16ビットの**ダイレクトカラー**記憶フォーマットを追加している。16ビットは、赤と青に対してそれぞれ5ビット、緑に対して6ビットと、原色間で配分される。これによって、同時に発色できる画面の色は65,536色になる。この範囲は、現実世界の色彩と比較すると限定されているように見えるが、赤、青、緑に対してそれぞれ5ビットが配分されている15ビットカラーの「TruVision TARGA」システムの能力と比較すると倍である。TARGAシステムが大半のビデオディスプレイに適合すると判明している事情を考えると、XGAはたいへん優れた能力を持っているといえる。

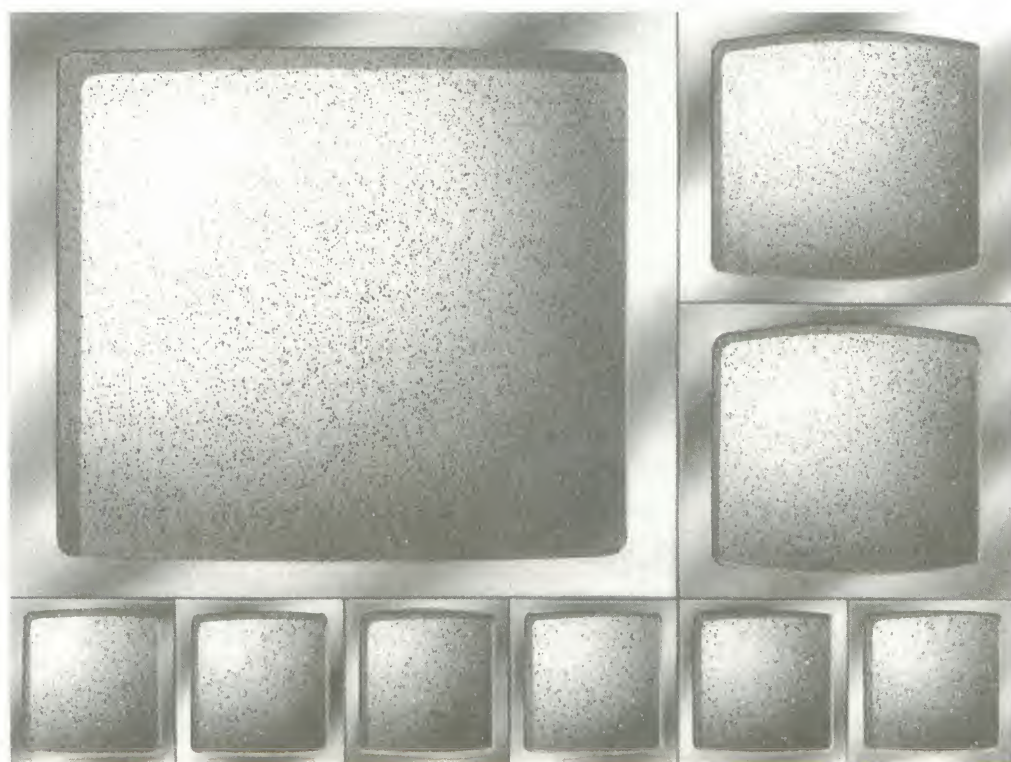
XGAコプロセッサは、パレットにマップされた色に制限されており、16ビットのダイレクトカラーの値を操作することができない。したがって、ダイレクトカラーモードでは、XGAボードをダムフレームバッファとして使用することが必要になる。ただし、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサが、ダイレクトカラー効果のためにメモリを使用しているときには、コプロセッサはXGAメモリを操作することができる。

バスマスタリング

XGAボードはバスマスタリング操作用に設計されているため、そのコプロセッサは自分専用のオンボードのVRAMばかりでなく、パーソナルコンピュータのシステムRAM全体も直接制御することができる。このXGAコプロセッサは、パーソナルコンピュータのメインメモリに格納されているメモリに対してグラフィックス計算を行って、バスマスタとして計算結果の画像を、VRAM画面メモリに速やかに転送できるよう設計されている。

XGAボードの制御は、7KバイトのBIOS拡張コードと共に、パーソナルコンピュータのHigh DOS領域（DOSの古い640Kバイトの制限を超えてアドレス指定されるメモリ）に置かれるメモリマップドレジスタによって行われる。コマンドをXGAに送信する場合には、ソフトウェアは、特定データをこれらのメモリアドレスのどこかに書き込むだけでよい。

第14章

ディスプレイ

ディスプレイは、パーソナルコンピュータが何をしているのか監視するためにのぞき込む、鍵穴のようなものである。ディスプレイなしで作業をすることはできないし、適切なディスプレイがなければ良い仕事はできない。実際に目にする画像の品質、精細さ、鮮明さ、色彩などはすべて、使用するディスプレイによって異なる。もはや今日のコンピュータディスプレイはテレビモニタのように単機能ではなく、フラットクリーンや高解像度を実現するために、どんどん新しい技術を取り入れている。

データは目で見ることができない。コンピュータが処理する情報は観念にしかすぎず、観念は、たとえ人間の精神の中にあってもコンピュータの中にあっても、無形の存在である。自分の観念を視覚化することはできるかも知れないが、コンピュータの数値化された思考内容を表わすパルスパターンは、人間が直接のぞき見ることはできない。おそらく自信を持ってそれができるという人はいないだろう。他人の考えが読めないくらいなのだから、人間とは歴然と異なるコンピュータ回路のサージを読むことなど、ほとんど不可能である。

大半の人々、少なくとも舞台で演じるマジックの訓練を受けたことのない人たちの場合、他人の考え自体は読みとることはできないが、それでも、外見を注意深く観察することで、他人の心の中の動きをかなり摑むことができる。もちろん、相手の考えの本当のところまでは入り込めないが、眼の動き、顔の表情、そぶり、ときには話しぶりからさえも、相手の考えていることが漠然とながら分かることがある。コンピュータについても同じだ。電子が論理ゲートを流れているのを見ることはできないが、コンピュータの顔つき、すなわち、**ディスプレイ**を見つめることで、画面の背後で何が進行しているかおおよその見当をつけることができる。ディスプレイが表示しているのは、コンピュータの思考の結果なのである。

キーボードが使用者からコンピュータに向かう通信経路であるとすれば、ディスプレイはコンピュータから使用者に向けられた連絡経路である。たとえ親友であっても心の内をすべて話してくれないのと同様に、ディスプレイも使用者にすべてを伝えはしない。しかしその代わりにディスプレイは鮮明な画像を提供してくれるので、そこから使用者は、コンピュータが何を行っているのか、自分なりの結論を引き出すことができる。

ディスプレイはコンピュータの思考内容と直接的な関係にはないため、コンピュータ内ではまったく同じ仕組みで働く同一の考え、すなわち、同じプログラムであっても、画面上にはまったく異なる画像を作り出すことがあり得る。表紙からは本の内容がわからないように、ディスプレイからコンピュータの性能を判断することはできないわけだ。

しかし、目にする画像は、コンピュータを使った作業の出来の善し悪しに影響を与えるため、ディスプレイは重要な存在である。お粗末なディスプレイを使うと、眼精疲労や頭痛を引き起こし、コンピュータの操作が苦痛になったりすることがある。逆に、最高品質のディスプレイであれば、輪郭のはっきりとした文字や鮮明な図形が表示でき、操作が楽しいシステムとなるのだ。

14.1 モニタとディスプレイ

〝ディスプレイ〟と〝モニタ〟は、用語としてはしばしば同義語のように使われているが、実際は明確に異なるものである。**ディスプレイ**は、画像を映し出す装置、つまり使用者が目にする画面のことであり、**モニタ**は、ディスプレイにサポート回路を付け加えた箱のような装置全体のことである。サポート回路によって、コンピュータ（またはビデオカセットレコーダなどのそれ以外の装置）から送られてきた信号は、ディスプレイが処理できる適切な形式に変換される。ほとんどのモニタはテレビと同様の原理で動作しているが、ディスプレイ自体は液晶や光子を発するある種の気体など、様々な技術を利用して作られている。

モニタと旧式のテレビとは、そもそも技術的な土台が似ているため、きわめてよく似た装置である。モニタは、回路を追加して機能を増強したディスプレイであり、テレビはこのモニタに、さらに信号の変換を行う電子回路を加えたものである。テレビには、放送局やケーブルテレビ会社から送られてくる信号を、モニタが使用する信号とほぼ同じ形式に変換する、**チューナ**（**波長調整器**）または**復調器**が組み込まれている。このチューナ以外の部分では、テレビとモニタは動作方法はほとんど同じで、事実、旧式のコンピュータのモニタの中には、適切な信号を与えればテレビと同じように機能するものもある。

しかし、最近のモニタは、そのルーツであるテレビをはるかに越えて発展している。それらのモニタは、より高い鮮明度と色純度を実現するために、テレビ局が発信できる値を超える高い周波数で動作する設計になっており、実際にテレビ以上の品質を達成している。

ディスプレイとモニタは、様々な技術を駆使して目に見える画像を作成している。それらの技術は基本的に2つに分かれるが、この2つの技術が、デスクトップコンピュータとラップトップコンピュータのそれぞれのディスプレイの違いともなっている。デスクトップコンピュータではほとんどの場合、普通のテレビに使用されているブラウン管に似た陰極線管を基礎にしたシステムを使用している。これに対し、ラップトップやノートパソコンでは、主として液晶ディスプレイを使用している。プラズマディスプレイを備えたデスクトップコンピュータやポータブルシステムもあるが、この種のディスプレイは一般的ではなく、値段も高い。

陰極線管

現在でも使用されている画像作成電子システムの中で最も古いものは、**陰極線管**（CRT：Cathode Ray Tube）である。これはまったく説明的な名称である。陰極線管は、特殊な形をした真空管、つまり、真空部分にきわめて低圧の不活性ガスを詰めたガラス管をベースにした装置である。真空管の中の**カソード**（陰極）は**アノード**（陽極）に向かって電子線を放射している（電子は陰電荷を持っているので、陽電位に引きつけられるのである）。CRTのカソードは電子を発射する〝曲射砲〟のような働きをしていることから、しばしば**電子銃**と呼ばれる。

蛍光体

真空管の頚状部の電子銃から発射された電子は、燐光性化合物の膜で被覆された真空管の平面なフェイス（画面部分）の内側へと流れる。この燐光性化合物の膜には、電子ビームに当たると発光するという素晴らしい特性がある。ビームの照射をフェイス一杯に移動させるために、真空管の周囲には強力な電磁石（**ヨーク**という）を数個配置して、電子ビームの飛行進路を曲げている。

ヨークが生成する磁界を慎重に制御して、ビームに管のフェイス上の表示線の1本1本を走査させることによって表示が行われる。

CRT上に見える画像は、燐光性化合物（業界用語では単に**蛍光体**と呼ばれている）に電気的な刺激を与えて発光させた光である。ただし、CRTにはすべて同じ蛍光体が使われているわけではなく、

様々な化合物や混合物が使用されており、電子ビームに当たったときの発光色や残光時間はそれぞれで異なっている。

IBM PC互換機のモニタでも様々な種類の蛍光体が数多く使われている。**表14-1**は、それらの蛍光体とその特性をまとめたものである。

表14-1　様々な蛍光体とその特性

タイプ	定常色	減衰色	減衰時間(ms)*	用途／備考
P1	黄緑	黄緑	15	オシロスコープ、レーダー
P4	白	白	0.1	ディスプレイ、テレビ
P7	白	黄緑	不明	オシロスコープ
P11	青	青	0.1	写真
P12	橙	橙	不明	レーダー
P16	紫	紫	不明	紫外線
P19	橙	橙	500	レーダー
P22R	赤	赤	0.7	プロジェクション
P22G	黄緑	黄緑	0.06	プロジェクション
P22B	青	青	0.06	プロジェクション
P26	橙	橙	0.2	レーダー、医療
P28	黄緑	黄緑	0.05	レーダー、医療
P31	黄緑	黄緑	0.07	オシロスコープ、ディスプレイ
P38	橙	橙	1000	レーダー
P39	黄緑	黄緑	0.07	レーダー、ディスプレイ
P40	白	黄緑	0.045	中期残光、ディスプレイ
P42	黄緑	黄緑	0.1	ディスプレイ
P43	黄緑	黄緑	1.5	ディスプレイ
P45	白	白	1.5	写真
P46	黄緑	黄緑	1.6	浮点走査
P55	青	青	0.05	プロジェクション
P56	赤	赤	2.25	プロジェクション
P101	黄緑	黄緑	0.125	ディスプレイ
P103	白	白	0.084	P4で水色の背景
P104	白	白	0.085	高効率のP4
P105	白	黄緑	100＋	長期残光のP7
P106	橙	橙	0.3	ディスプレイ
P108	黄緑	黄緑	125	P39で水色の背景
P109	黄緑	黄緑	0.08	高効率P31
P110	黄緑	黄緑	0.08	P31で水色の背景
P111	赤／緑	赤／緑	不明	電圧ペネトレーション
P112	黄緑	黄緑	不明	イリジウムライトペン／ドープ処理したP39
P115	白	白	0.08	黄色の強いP4
P118	白	白	0.09	ディスプレイ

タイプ	定常色	減衰色	減衰時間 (ms)	用途／備考
P120	黄緑	黄緑	0.075	P42 水色の背景
P122	黄緑	黄緑	0.075	ディスプレイ
P123	赤外	N/A	不明	赤外線
P124	黄緑	黄緑	0.130	P4 の黄色部分
P127	緑	黄緑	不明	P11＋P39 ライトペン用
P128	黄緑	黄緑	0.06	イリジウムライトペン／ドープ処理した P31
P131	黄緑	黄緑	不明	イリジウムライトペン／ドープ処理した P39
P133	赤から緑	赤から緑	変化	電流感知
P134	橙	橙	50	ヨーロッパの蛍光体
P136	白	白	0.085	コントラストの大きい P4
P137	黄緑	黄緑	0.125	高効率の P101
P138	黄緑	黄緑	0.07	コントラストの大きい P31
P139	黄緑	黄緑	70	コントラストの大きい P39
P141	黄緑	黄緑	0.1	コントラストの大きい P42
P143	白	黄緑	0.05	コントラストの大きい P40
P144	橙	橙	0.05	コントラストの大きい P134
P146	黄緑	黄緑	0.08	コントラストの大きい P109
P148	黄緑	黄緑	不明	ライトペン応用品
P150	黄緑	黄緑	0.075	データディスプレイ
P154	黄緑	黄緑	0.075	ディスプレイ
P155	黄緑	黄緑	不明	ライトペン応用品
P156	黄緑	黄緑	0.07	ライトペン応用品
P158	黄	黄	140	中期残光
P159	黄緑	黄緑	不明	コントラストの大きい P148
P160	黄緑	黄緑	0.07	データディスプレイ
P161	黄緑	黄緑	0.07	データディスプレイ
P162	黄緑	黄緑	0.1	データディスプレイ
P163	白	白	2	写真
P164	白	黄緑	0.1	ディスプレイ
P166	橙	橙	不明	イリジウムライトペン
P167	白	白	0.075	ディスプレイ
P168	黄緑	黄緑	0.075	プロジェクション
P169	薄黄色	薄黄色	1.5	ディスプレイ
P170	橙	橙	不明	コントラストの大きい P108
P171	白	黄緑	0.2	ディスプレイ
P172	緑	緑	不明	ライトペン、ディスプレイ
P173	赤外	N／A	不明	ライトペン
P175	赤	赤	0.6	ディスプレイ
P176	黄緑	黄緑	0.2	写真

タイプ	定常色	減衰色	減衰時間(ms)	用途／備考
P177	緑	緑	0.1	データディスプレイ
P178	黄緑	黄緑	0.1	ディスプレイ
P179	白	白	1	ディスプレイ
P180	黄橙	黄橙	0.075	ディスプレイ
P181	黄緑	黄緑	不明	カラーシャッターディスプレイ
P182	橙	橙	50	ディスプレイ
P183	橙	橙	不明	ライトペン、ディスプレイ
P184	白	白	0.075	ディスプレイ
P185	橙	橙	30	コントラストの大きいP134
P186	黄緑	黄緑	25	ディスプレイ
P187	黄緑	黄緑	不明	ライトペン、P39
P188	白	白	0.05	白色ディスプレイ
P189	白	白	不明	白色ディスプレイ
P190	橙	橙	0.1	ディスプレイ
P191	白	白	0.12	白色ディスプレイ
P192	白	白	0.2	白色ディスプレイ
P193	白	白	0.08	白色ディスプレイ
P194	橙	橙	17	ディスプレイ
P195	白	白	0.125	反転ディスプレイ

＊　ディスプレイが放射レベルから10%減衰するまでの概算時間(ミリ秒)

蛍光体の種類によって画面上の画像の色が決まる。モノクロのディスプレイでは一般的にアンバーや緑や、白っぽい色の蛍光体が数種類使われている。カラーCRTディスプレイでは、真空管の内側全体に、3種類の蛍光体が細かなパターンで塗布されている。パターンは、隣り合わせに配列された加法混色の3原色(赤、緑、青)のドットやストライプで形成されている。このドット3つをひとまとまりとして、**トライアド**とか**トリプレット**と呼んでいる。

1組のトライアドを構成する3個のドットで、1個の**画素(ピクセル)**が形成されている(IBMは、ピクセルについて**ペル**:pelという省略形を好んで使用している)。

カラーモニタの画面上のカラートライアドを構成する3色は、メーカー各社が自由に選ぶことができるが、実際にはほとんどのメーカーが同一の蛍光体の組み合わせ(P22)を採用している。したがって、多色モニタの基本的なカラー能力は同じである。

カラーモニタは、3原色のいずれかの蛍光体ドットを個別に電子ビームで照射することによって、照射された色で画面を点灯させることができる。また、3原色をいろいろと組み合わせて照射すれば、そのほかの色も作り出すことができる。各原色の輝度を変えれば、無限に色彩を作成することも可能である。

モノクロディスプレイの場合は、電子ビームが真空管のどこを刺激しても同じ色を発光するように、同種の蛍光体がCRTに塗布されている。蛍光体の色が画面全体の発光色を決定するわけである。

この場合一般に使用されているのは、アンバー、緑、白の3色で、どの色が最もよいかは好みと偏見の問題である。様々な研究によってこの3色はいずれも優れた色であることが裏付けられている。

- **緑**――緑色の画面は、IBMが自社のほとんどのターミナルと最初のPCのディスプレイに採用しており、ほかの色に先行してスタートを切っている。緑はオシロスコープやレーダー画面（これらの大部分は現在でも頑強に緑色を守っている）の時代から引き継がれたものの1つで、周囲の光度が低い場所で使用する場合は緑がよい。しかしここ数年、ユーザーが選択するスクリーンの色としては人気が低下している。
- **アンバー**――いくつかの研究によって、アンバーの画面は見た目によく、周囲の環境の光度が明るいときは文字が読みやすいといわれたため、1980年代に人気が上昇した。黒と黄色のコントラストは最も目につく色の組み合わせの1つで、この色に近いアンバーのディスプレイは知覚しやすいわけだ。また、アンバーのディスプレイはヨーロッパにおいては事実上のモニタ標準となっている。
- **白**――かつては白い画面は避けられていた。単に白黒テレビを連想させるというだけの理由もあったが、主な理由としては、最も初期のモノクロディスプレイは大抵コンポジットインターフェイスを使っていたために、画像の品質が悪かったという事情による。

AppleのMacintoshとデスクトップパブリッシングの登場により、白という色は再評価されることになった。白は、時代を越えてオフィスの至るところで使われてきた紙の色である。また、様々な色の組み合わせの中で、白と黒は最も文字が読みやすいコントラストの1つである。IBMは、VGAとモノクロの白色ディスプレイの発表に伴い、全面的な白色への転換を促進した。

注意深く画面を観察すると、いわゆる〝白色〟の蛍光体に明るい黄色を混ぜてまだらにするなど、微妙な色構成になっているのがわかるだろう。メーカーは種類の異なる蛍光体をいくつか混ぜ合わせて、モノクロディスプレイの色に微調整を施すことにより、その色調を冷たい青みがかったテレビの白色か、暖かい黄色がかった紙の白色のいずれかにしている。

通常の白色と、紙のような白色のディスプレイとを分ける適切な境界線はない。理屈では、**ペーパーホワイト**は、タイプに使用する代表的なボンド紙の色ということになっており、白色モニタの大半が使用している青みがかった発光色より、心持ち暖かみのある白である。しかし、ペーパーホワイトという色も、誰がこの名称を使っているかで違ってくる。

画面の読みやすさに関しては、蛍光体に劣らず重要であるにもかかわず、無視されることが多いのが表示管の背景の色である。モノクロ画面の背景色はライトグレーからほとんど黒に近い色まで幅広い。画面の色が暗くなれば、前景の文字と背景とのコントラストが鮮明になり、特に周囲が明るい場所ではディスプレイが一層見やすくなる。

カラー画面の背景の部分、すなわち、蛍光体の発光するドットとドットの間のスペースは、**マトリックス**と呼ばれ、電子ビームでは照射されない。このマトリックスの色が、電源を切った時の画面の色になる。画面が薄灰色になるか、深緑がかった灰色になるか、または黒に近い色になるかは、マトリックスの色によって決まるわけだ。マトリックスが黒や暗い色であればあるほど、表示されている画像は引き立って見える。明るいグレーのマトリックスにすると、白の表示色が純白に近くなる。ただしこの差は微妙で、管を2つ並べてみないと違いは見分けられない程度である。

色温度

厳密な色合わせを必要とする仕事では、モニタの**色温度**が重要な問題となることがある。もちろん、白光は白色ではなく、その中にはすべての色が含まれている。しかも、白色といってもすべて一様ではない。青色の強いものもあるし、黄色の強いものもある。白色と言われる中に含まれるこれらの異なる白色は、色温度、すなわち、理想黒体がその色を発するのに必要なケルビン度数（絶対温度）で表わされる。

炉で熱した蹄鉄の白熱のように、温度が上昇するにつれて、発光体の色合いは赤からオレンジ色へ、オレンジ色から黄色へ、黄色から青みがかった白へと変化してゆく。色温度とは、単にこれらの色のひとつひとつに絶対温度の温度数を与えた

ものである。

たとえば、普通の白熱電球は2,700Kから3,400Kの範囲である。蛍光灯はほとんどの場合カラースペクトルが不連続で、特定の色合い(特に緑)が強く、そのほかの色合いが欠けているため、正しい色温度を割り当てるのは不可能である。蛍光灯は一般に、色温度が約5,000Kの日光に近くなるように作られている。

紙と顔料ではどうしても光を反射してしまうため、色を特定する際には問題が生じる。実際の色は顔料や紙を照らしている光の温度に左右されているのである。一方、モニタ画面は発光しているため、その色は照明の影響を受けない。モニタ画面には、モニタを使用しない作業で見る光とは異なる(異なる可能性が高い)独自の色温度がある。モニタは、白熱光や蛍光ではなく、日光に近い色温度で発光するように設計されている。

しかし、日光についてすべての人が同じ定義をしているわけではない。たとえば、真昼の日光は5,500～6,000Kだが、雲りの日中は色温度が10,000Kに達することがある。これは、上空の青い輝き(色温度が高い)が分散して、太陽から来る黄色がかった光を抑えているからである。モニタの色温度を決定しているのは、ブラウン管画面に使用されている蛍光体の固有の色およびそれらを混ぜ合わせた色と、これらの蛍光体を照射する電子ビームの相対的な強度である。雨天を好むアヒルやイギリス人でなければしっくりこないような、雲りのどんよりとした午後こそ日中と考える技術者もいて、これらの技術者は当然モニタの色温度を10,000Kの高さにしている。その一方では、コダクローム[*1]の世界に住んでいる技術者たちもいて、その世界では、モニタの色温度は公園にチューリップの花が咲く春の日中と同じ5,300Kになっている。

残光

CRTの蛍光体は、残光の点でも違いがある。**残光**とは、電子ビームを当てた後、どれだけの時間蛍光体が発光しているかを表わす用語である。ほとんどのモニタは中程度の時間の残光の蛍光体を使用している。

残光時間が長いと目でわかる。画像がぼやっとした感じになり、数秒間は残っているが、やがてゆっくりと消えてゆくのが見えるのである。こうした効果は特に暗い部屋では煩わしく感じるかも知れないが、この効果によってもう1つの頭痛の種であるフリッカ(ちらつき)を抑えることができる。

まさにその言葉の響きどおりに、**フリッカ**とは画面の画像が素早くフラッシュすることで、これは、画面が電子ビームで一度走査された後、再び走査される前に画像が減衰することによって発生する。残像(人間の視覚系統の特性)効果により、実際には素早い発光を繰り返している光源が、人間の目には切れ目なく光っているように見える。たとえば、継続して点灯しているように見える蛍光灯も、1秒間に120回(一般家庭用電気の公称周波数の2倍)の点滅を繰り返している。

電子ビームの通過が連続しているように見えないほど通過の周期が長い場合、残光の長い蛍光体の発光によってその隙間を埋めることができる。このため、残光の長い蛍光体は、インタレースモニタ(この章で後述)のような、走査が通常よりも遅い表示システムにしばしば使用されている。一般的な(しかも目に心地好い)走査速度は、1秒当たり60回以上なのに対し、IBMのモノクロディスプレイは、走査速度が毎秒50回となっており、残光の長い緑色の蛍光体を使用したディスプレイとしては恐らく最も評判が悪い。

ただし、残光の長い蛍光体は緑色である必要はない。実際に、フリッカがあると煩わしい用途においては、残光の長い様々な色が使用されている。残光の長い蛍光体は、ノンインタレースディスプレイに比べて走査速度の遅い、インタレースシステムで最も頻繁に使用されている。

ただし、残光の長い蛍光体の場合は、**ライトペン**が使用できなくなる。これは、ライトペンの動作が、蛍光体のドットのひとつひとつが発光する

＊1　訳注：コダック社のカラーリバーサルフィルムのシリーズ名。他社のフィルムにくらべて、暖色系(色温度が低い)に寄った発色を持つ。

その瞬間を感知することに依存しているからである。残光が長いと発光が長引くため、いくつかのドットが同時に発光しているようにライトペンには映ってしまい、画面上のドットの位置を特定することができなくなるのである。

電子銃

モノクロCRTには電子銃が1つ装備されており、画面全面を連続して走査している。カラーの真空管には大抵電子銃が3つ装備されているが、〝単電子銃〟管を売り物にしているカラーテレビやモニタもある。これは、何を電子銃と呼ぶかによってその数が変わってくるためである。カラーCRTはすべてそうだが、単電子銃管には個別に制御可能な独立した陰極が3つ装備されており、それぞれが電子を放出しているのである。そして、これら3つの陰極は組み込まれて1つの部品になっており、ビームを1つしか発生していないかのように制御することができる。

3電子銃管では、3つの電子銃は三角形に配置されているが、単電子銃管の場合は、陰極が一直線に配列されており、しばしば**インラインガン**という別名で呼ばれている。論理的には、インラインガンの方が組み立ては簡単といえるが、実使用においては、どちらの配列でも優れた性能を引き出せることに変わりはない。

カラーCRTの3つの電子銃は同時に電子を放出し、放出された電子によってできた3本のビームは、ヨークによって3本一緒に一定方向へと向けられる。ただし、3本のビームはそれぞれ個別に調整され、各ビームが正確に画面上の同じトライアドのカラードットに当たるようになっている。こうした制御方法を用いて、3本のビームを同じトライアドに収束(コンバージェンス)させていることから、この制御を**コンバージェンス**制御と呼んでいる。また、ビームを調整する処理は通常**アラインメント**と呼ばれている。

コンバージェンス

いずれのカラーモニタでも、3本の電子ビームはトライアド中の1個の蛍光体ドットを照射するように、画面上の正しい位置に正確に収束させなければならない。モニタが正しく調整されていなかったり、あるいは正しく設計、製造されていなかったりすると、3本のビームは一点にきちんと収束しない。収束が悪いと、虹のような陰影のある画像となったり、鮮明さや細部描写に乏しい画像となってしまう。個々のテキスト文字は輪郭がはっきりしないだけでなく、2色もしくは3色の色がにじんで表示されるのである。モノクロモニタの場合は、電子ビームが1本なので、その特性上このようなコンバージェンスの問題は発生しない。

コンバージェンスの障害は、モニタの欠陥の原因ではなく、むしろ結果としての症状である。コンバージェンス障害は、ディスプレイの設計からだけでなく、個々のモニタの組み立て時の問題や設定調整からも生じる。これらの障害は個々のディスプレイによって大幅に異なることもあり得るし、また輸送中の損傷により悪化する場合もある。

コンバージェンス障害が発生した場合、その結果が最も現われやすいのが画面の周囲の部分である。というのは、この部分は電子ビームが最も制御しにくいところだからである。ひどい状態のときは、コンバージェンス障害がそのディスプレイの鮮明度を制限する根本要因となり、ドットピッチが広くなったり、帯域幅が狭くなったりするだけにとどまらず(これらについては後述)、もっと大きな悪影響を及ぼすことがある。

数多くのモニタメーカーは、自社製品について、画面上の特定の箇所におけるコンバージェンスが数分の1mmであると主張している。これを実際に画面の1つの箇所だけでなく、いろいろな部分から数字をとって比べてみると、画面の中心部分の値は画面の角よりもつねに数字が小さい。つまり、コンバージェンスがきわめて細かく、精度が高くなっている。

コンバージェンスで使用される数字は、特定の位置において2つの色がどれだけ離れているかを示した値である。数字が小さいほど精度が高いということになる。代表的なモニタでは、画面の1つの角のコンバージェンスは、公称約0.5(1/2)mmである。この数字は真空管のドットピッチよりも50%も大きく、コンバージェンスがモニタの鮮明度の限界になっていることがわかる。

コンバージェンス障害はモニタの調整で修正できることが多い。多くのモニタは内部にコンバージェンス制御機能があり、また、高解像度の(そして高価な)モニタの中には、外部にコンバージェンス調整機能が付いているものまである。ただし、モニタのコンバージェンスの調整は専門家の仕事であり、これは、コンピュータの出張修理の場合と同様に、うまく収束するようにモニタを修理してもらうと高い費用がかかる場合があるということを意味している。

現在、IBMやそのほか多くのディスプレイメーカーは、自社の製品について、寿命期間中はコンバージェンスの問題は発生しないと明言している。この場合、モニタの調整(適切な試験装置を持った専門家にしか行えない)の必要はなくなるが、寿命期間中ずっとコンバージェンスの悪いディスプレイを使いたくなければ、購入前には必ずディスプレイを試しておく必要があるだろう。

シャドウマスク

電子ビームについては、正しいドットに向けるということだけでは十分ではない。ビームの一部がこぼれ出て、同じトライアドのほかのドットに当たることあり得るからである。ビームが流れ出ると、色純度が失われる、すなわち、鮮やかな色合いが濁ってしまう結果となる。こうした影響を防ぎ、画像をできるだけ鮮明に、色鮮やかにするために、コンピュータディスプレイやテレビに使用されているカラーCRTには、**シャドウマスク**が付いている。シャドウマスクは、いくつもの微細な穴のあいた金属板で、表示管の内部で、蛍光体を塗布したフェイスからほんの少し離れた位置に置かれている。

電子ビームが1色の蛍光体ドットだけに当たるようにするために、CRT画面を覆う蛍光体ドットとシャドウマスクの穴の配列は厳密に決まっている。こうすれば、ほかの2色のドットはマスクの〝シャドウ(陰)〟になって、電子ビームが当たらなくなるわけだ。

シャドウマスクの穴の間隔は、表示画像の品質を大きく左右する。CRT画面上の蛍光体ドットの間隔とマスクの穴の間隔は、完全に同じでなければならない。ドットの間隔は穴の間隔によって決まることから、この間隔をCRTの**ドットピッチ**と呼んでいる。

CRTのドットピッチとは、単に同色の2ドット間の距離の測定値で、管のサイズや表示画像のサイズとは無関係の絶対測定値である。

シャドウマスクは2通りの形でモニタ画像の明るさに影響を与えている。まず、マスクの穴のサイズによって、蛍光体に向かう電子ビームのサイズが制限される。電子ビームが電子銃の軸線から外れる、つまり、画面の角の方向に行くと、電子銃から見たマスクの穴の形が卵形となり、透過するビームは少なくなる。このため、画面の角は中心部に比べて、輝度としては明確に区別できるほどの差はなくても、鮮明度は劣る場合が多い。

また、マスクによって、CRT内での電子ビームの強さも制限される。ビームが強くなればなるほど画像は明るくなるが、エネルギー量もまた大きくなるため、ビームがマスクに当たると、そのエネルギーの一部はマスクに熱として吸収されて、マスクの温度が上昇する。この温度上昇によってマスクには予測不可能な膨張が発生し、ごくわずかだがマスクが歪み、結果として画像をぼやけさせることになる。こうした熱を誘因とする画像のぼけを最小限に抑えるために、モニタメーカーはシャドウマスクの原料を、熱膨張率が最も小さい合金であるインバール鋼(不変鋼)に切り換えつつある。

アパチャグリル

シャドウマスクにおけるこれらの問題については、誰かからもっと良いアイディアが出てくることが待ち望まれていた。この期待に応えたのが**トリニトロン**ブラウン管を発明したSonyである。

トリニトロンは、マスクの代わりにアパチャグリルと呼ばれる、並行に横に並んだワイヤの間の隙間を利用している。ブラウン管の内側の蛍光体は、加法混色の3原色がストライプ状になるように塗られている。

シャドウマスクが電子ビームを遮って、側のドットに当たらないようにしているのと同じ仕組みで、グリルワイヤが電子ビームを遮って、隣りのスト

ライプに当たらないようになっている。同色の前後2つのストライプ間の距離は、ワイヤの隙間の間隔、すなわち、ブラウン管の**スロットピッチ**によって決まる。電子ビームは電子銃から遠ざかるにつれて扇形にひろがるのに対し、蛍光体のストライプと電子銃の間にはグリルワイヤがあるため、必然的にストライプ間の間隔はスロットピッチよりもわずかに広くなっている。このストライプの間隔を**スクリーンピッチ**という。たとえば、スロットピッチが0.25mmのトリニトロンであれば、スクリーンピッチは0.26mmになっている。

アパチャグリルのワイヤはきわめて太く、スロットピッチの約3分の2ほどの厚みがある。たとえば、スロットピッチが0.25mmのトリニトロンでは、グリルワイヤは直径が約0.18mmあるのだ。グリルワイヤは強く張られてはいるが、このままでは振動してしまう可能性があるため、トリニトロンモニタには、画面上に細い**テンショニングワイヤ**が水平に1本か2本張られている。このワイヤはとても細いのだが、どうしても画面上には影が出てしまい、特に画面の背景が薄い色の場合に最も濃く現われてしまう。テンショニングワイヤの影が目障りに感じる人もいるので、購入前には画面に近づいてよく見ておくべきだろう。

トリニトロンは、理論的には、明るさの点ではシャドウマスク管より優れている。グリルの隙間のほうが、シャドウマスクの小さな穴よりも電子を多く画面へ通すため、トリニトロンのほうが(理論上は)明るい画像を作成できるのである。ただし、この付加されるはずの輝度については、実際には証明されていない。しかし、トリニトロンは画面全体を万遍なく明るくするという点では、シャドウマスクより優れているのはたしかである。これは、トリニトロンのアパチャグリルは1次元でしか電子ビームを遮っていないため、画面の角でも電子ビームを遮る大きさは変わらないからである。

Sonyは基本特許によって、トリニトロンの設計に対する独占的な権利を持っていたが、これらの特許が1991年に期限切れになるに伴い、ほかのメーカーが素早くその技術を利用し始めており、市場に登場するアパチャグリルのカラーモニタの数は、今後一層増えてくることが期待される。

ドットピッチ

使用している技術がドットピッチに基づくシャドウマスクか、スロットピッチに基づくアパチャグリルかにかかわらず、画面上の画像のトライアドの間隔は、モニタの品質を決める重要な要素である。モニタはマスクの穴やグリルの密度以上にドット密度を上げることはできない。コンピュータシステムにおけるある解像度に必要なピッチを計算するのは簡単で、画面サイズを表示に必要なドット数で割るだけでよい。

たとえば、VGAテキストディスプレイには幅が9ドットの文字列が80桁あるので、画面の横幅は720ドットである。これに対し、典型的な12インチ(対角線の長さ)モニタ画面は横幅が約9.5インチ、すなわち、240mmである。したがって、VGAテキストイメージを正しく表示するためには、画面の全幅を表示に使用すると仮定すると、ドットピッチが0.333(240／720)mm未満でなければならない。しばしばモニタの画像が画面全体の幅よりもいくぶん小さいことがあり、このようなディスプレイの場合は、さらに小さなドットピッチが要求される。逆に大きいディスプレイになると、一定の解像度に対するドットピッチは粗くなる。

画面の曲率

ほとんどのCRTはある決まった独特の形をしている。CRTの片方は細い首状になっており、そこには電子銃が収められている。またその周りには、電子ビームを曲げて真空管のフェイスの内側を走査させるための磁界を作り出す偏向ヨークがぴったりとはめ込まれている。真空管はヨークから漏斗のように広がり、最終的には画面となる四角いフェイスを形成している。多くの場合(ただし、現在ではかつてほど一般的でないが)、このフェイスは曲線を描く球面になっている。

フェイスが曲面になっているのには2つの意味がある。まず、曲面にすることで、電子ビームがフェイスに到達するまでの距離を、端でも中心でも、いずれの位置をとっても一様になるようにしているのである。平板な画面だと、中心部よりも端のほうがビームの移動する距離が長くなり、また、ビームが画面のフェイスに斜めに当たるため、

画像の歪みが生じてしまう。この歪みは電気的に補正できるが、画面が曲面であれば、補正ももっとスムーズのできるのである。

また、CRTは真空状態になっているため、真空管を押しつぶそうとする通常の大気圧の力が常に真空管に働いている。球面であれば、この潜在的な破壊力が真空管の全面へ一様に分散されるため、相対的に真空管を強くできるのである。

画面が曲面であるということにはマイナスの作用も伴う。画面の直線がまっすぐに見えるのは一ヶ所の視点からだけで、頭を画面に近づけたり、遠ざけたり、横に動かしたりすると、まっすぐだと思っていた線が様々に曲がって見えるのである。この効果は写真に撮ってみるとよくわかる（人の目は曲線に順応してしまい、直線だと錯覚してしまうため）。

これに対し、インラインガンのような配置であれば、真空管の構造とアラインメントがかなり簡略化されるため、円筒状に曲がった画面が適している。円筒状の画面だと、画像は縦もしくは横の軸にしか曲がらないため、曲線に伴う問題が少なくてすむ。トリニトロンは画面が円筒状になっているのが特長である。一方、シャドウマスクのブラウン管の画面は曲面になっている。

しかし、技術の進歩により、どうしても画面を曲面にしなければならないという理由はなくなっている。ここ数年で、真平らな画面を作る上で技術的障害となっていた要因が克服されたのである。現在では数多くのメーカーからフラット画面のモノクロディスプレイが販売されている。

カラーのフラット画面としては、Zenithの**フラットテンションマスク**システムが最初である。テンションマスクは、シャドウマスクを引っ張ることによって、カラーのフラット画面システムに内在する構造上の諸問題を解決している。また、その平面のフェイスと黒いマトリックスは目にも鮮やかな画像を作り出すのに貢献している。ただし、画面が目に心地好いのとは対照的に、モニタのケースはかさばって見栄えがせず、最初の機種が内蔵していたファンの音は聞き苦しいものだった。このモニタの電力消費量は減少してきてはいるが、価格面では相変わらず在来型の機種よりも高価である。

解像度とアドレス可能度

ビデオシステムの**解像度**とは、表示可能な画像細部の細かさのことである。解像度は、画像を構成しているひとつひとつのドット数に直接結びついた結果であり、画面サイズとドットピッチの関数である。

ドットのサイズと個数によって画質の限界が決まるため、画像の鮮明度は、画面の縦横に表示することができるドット数で表わすことができる。たとえば、IBMのVGAが標準グラフィックモードで必要とする解像度は横640ドット、縦480ドットである。XGAディスプレイシステムの場合、最高解像モードでは1024×768ドットの画像を作り出す。

ところが、画面上で得られる解像度とコンピュータのディスプレイアダプタから得られる解像度が異なることがある。たとえば、カラーテレビの解像能力を高めるためのビデオモードが、コンピュータモニタから本来得られる画質を引き出していることはほとんどない。また、コンピュータで作成したグラフィックスが、現在使用しているディスプレイよりも高解像度の機種用のものである場合もあり得る。仮に、価格が高いモニタの代わりにテレビを使ってみると、実際に目に映る鮮明さは、ビデオシステムで見る解像度よりも悪くなってしまうのである。

実際の解像度は、使用しているビデオディスプレイシステム、すなわち、モニタの物理的な品質である。つまり、ビデオディスプレイシステムによってディスプレイの品質の限界が決まるのである。カラーのディスプレイシステムでは、解像度を主に制限しているのは純粋に物理的要因、つまり、システムのコンバージェンスとブラウン管のドットピッチの2つである。画質を制限する要因の1つであるシャドウマスクがないモノクロシステムの場合、解像度はモニタの**帯域幅**、すなわち、モニタの取り扱える最高周波数の信号により制限される（細部が細かくなるに従い、コンピュータシステムからモニタに送られる信号に多くの情報が詰め込まれることになり、一定時間内に送る情

報が多くなるに伴い、信号の周波数は高くなる)。

モニタの画質を表わすのに、頑強に**アドレス可能度**という紛らわしい用語を使っているメーカーもわずかながらある。アドレス可能度とは、基本的にカラーモニタの帯域幅の測定値のことである。つまり、モニタが画面上のドットに対して、どれだけの精度で電子銃を向けることができるかを表わしたものである。ただし、この定義では、シャドウマスクが加えている物理的制限は無視されている。いいかえれば、アドレス可能度は、モニタがどのぐらいの品質の信号を取り扱うことができるかを表わしたものであるが、その信号の品質は必ずしも完全に画面上で実現されるわけではない。

14.2　グレア防止処理

そもそもほとんどの鏡はガラスで作られており、ガラスは鏡のような働きをすることがよくある。たとえば、空気の屈折率とガラスの屈折率は異なるため、ガラスは必然的に光を反射する。鏡を作る場合には、この特性はたいへん有効であるが、ガラスを使ってモニタを作り、そのモニタを使用する場合には、このガラスの反射性は大きな頭痛の種となる。CRT のガラスのフェイスに反射した部屋の光や窓の光の反射光が、ブラウン管の内側の蛍光体の発光よりも明るくなるという現象が容易に発生し、その結果、画面の文字や図形が〝あせて〟見えたり、反射光の明るさでぼんやりしてしまったりすることがよくある。

モニタ画面の曲率が大きくなればなるほど、画面が反射する範囲も大きくなるため、それだけ反射にからむ問題が発生する可能性が高くなる。商店で万引きを監視したり、U 字形の曲がり角で対向車の存在を知らせる道具として、全景を映し出す大きな凸面鏡が使用されているが、球面のフェイスはその凸面鏡と同じ働きを持っている。したがって、逆にモニタの画面が平らに近くなれば、それだけ悩みの反射も少なくなり、完全に平面の画面なら、モニタの画面の向きを少し変えるだけでグレア(光輝)や反射を避けることも可能である。

モニタ画面の曲率はユーザー自身は変えることはできない。しかし、救いの手はある。グレア防止処理を施せば、ほとんどの CRT 画面の反射を減少または除去することができる。グレアを減らす方法にも様々なものがあり、以下にそのいくつかを示すが、効果はそれぞれによって若干の差がある。

メッシュ

最も簡単で、最も費用がかからないグレア防止処理は、通常はナイロン製である**メッシュ**を画面につけることである。メッシュの取り付けは、直接画面上に重ねるか、取り外し可能なフレームに入れて、画面の約 0.5 インチ前方にはめ込むかのいずれかになる。メッシュの穴はひとつひとつが短い管のような働きをしており、管を通してまっすぐからは画面が見られるが、横から来る光は管で遮ることができるという仕組みである。

この方法は簡単な割にはたいへん効果的である。市場に出ている最も安いグレア防止メッシュには、パンティーストッキングを引き伸ばしたようなものもある。

機械的なグレア削減法

グレアは機械的な方法によっても減少させることができる。機械的な方法といっても、メッシュのようにグレアが画面に達する前に自動的に遮断するのではなく、画面の表面に機械的な処理を施すのである。CRT 前面のガラスを軽く研削して、光を反射するのではなく、むしろ光を拡散するように変えることができる。この機械的な研削加工によって生じる画面上の粗い目が、それぞれ勝手に光を反射し、あらゆる方向へ光をまき散らすのである。表面が滑らかな画面だと、鏡のように一

条の光をそのまま反射してしまうため、まぶしい光源が目に反射されてしまうが、研削したガラスに反射した光は拡散されて消散するので、目に到達する光が少なくなり、グレアもまぶしくなくなるのである。

コーティング

CRT画面にコーティング材を施すことによってグレアを減少させることができる。使用できるコーティング材には2種類がある。1つは、CRT画面にきめの粗いフィルムを形成するもので、このようにして作られたきめの粗い表面は、研削したガラスと同様の働きをして光を拡散する。

また、フッ化マグネシウムなどの特殊な化合物を画面に塗布してもよい。このコーティングの厚さを精密に制御すれば、画面の表面の反射率を減少させることができる。フッ化物のコーティングは、光(通常スペクトルの中心の光)の波長の4分の1の厚さになっている。フッ化物を通り抜けて画面に反射する光は、フッ化物の表面に当たった時とは別の位相になってコーティングに現われるため、視覚的にはグレアがなくなって見えるのである。カメラレンズもこれと同じ原理を用いて、コーティングを施して反射光を除去している。

偏光

光は**偏光**させることができる。つまり、光子を1つの面の振動に限定することができるのである。偏光板を使えば、一方向に偏光した光だけを通過させることができる。したがって、2枚の偏光板を双方の偏光面が平行になるように並べれば、1枚の偏光面の光しか通過せず、同様に、2枚の偏光板の偏光面が相互に直角をなすように配置すれば、光を完全に遮断することができる。最初の偏光板が一種類の光だけを通過させ、2枚目の偏光板はこれとは異なる種類の光だけを通過させるのだが、2枚目の偏光板には最初の偏光板を通過した一種類の光しか到達しないので、2枚目のフィルタを通過する光がまったくなくなるのである。

光は表面で反射すると、偏光方向が90度移動する。この物理学の原理によって、偏光板がグレア削減の極めて有効な手段となっている。

1枚の偏光材質が画面のすぐ前に置かれている。グレアの原因となりうる光は画面を通り抜けて、偏光される。その光がディスプレイに当たって反射すると、偏光方向が90度移動する。その光が再度フィルタに到達したときには位相が変っているので、フィルタを通り抜けることができない。これに対し、ディスプレイから発する光は1度だけフィルタを通り抜ければよい。画面からの発光は偏光されるが、その光を目から遮る2番目のフィルタはないというわけだ。

グレア防止処理はいずれも何かしらの欠点がある。メッシュの場合、輪郭がなだらかな文字などはメッシュのセル(仕切られた小さな穴)構造によってばらばらにされてしまうため、鮮明であるはずの画面がぼやけて見えてしまう。機械的な方法による処理を行えば費用が高くかかり、しかも画面が少しぼやけたり、焦点がずれて見える傾向がある。光の拡散原理に基づくコーティングについてもこれと同じことが当てはまる。また、光学コーティングや偏光フィルタ、またメッシュでさえも、それ自体が反射する光の問題を抱えている。グレア防止材質自身が、わずかながら自分からグレアを発していることもあるのだ。さらに、いずれのグレア防止処理でも、また、偏光板は特に、表示を薄暗くさせてしまう傾向がある。実際、ディスプレイの明るさは、偏光板によって、処理を施していないときの4分の1にも減少する。

しかし、こうした欠点があっても、グレア防止処理の効果は驚くほど高い。目の疲労感をやわらげ、コンピュータを長く使っていると生じる頭痛を取り除くことができるのである。

14.3 オーバースキャンとアンダースキャン

コンピュータディスプレイはほとんどの場合、画面サイズの規格が定められている。テレビと同様に、コンピュータモニタの画面のサイズは、陰極線管(CRT、ブラウン管)のフェイスの対角線を計測したものである。したがって、12インチモニタなら、その有効表示域は9×7インチよりもいくらか小さくなる。

画面が同じサイズの2つのモニタでも、画面上の画像サイズがまったく違うこともある。コンポジットモニタはしばしば**オーバースキャン**に悩まされる。これは、モニタが画面サイズよりも大きな画像を作り出そうとしてしまうことで、有効表示域の端や角の部分で画像が途切れてしまうのである(オーバースキャンは多くの場合、モニタ内部の部品が古くなって弱くなるに従い画像が縮小することを想定して、始めからわざと組み込まれている)。**アンダースキャン**は、画像が公称の画面サイズよりも小さくなるというオーバースキャンと反対の状態である。

オーバースキャンは、特定のディスプレイにあらかじめ組み込まれている場合などでは、完全に正常な状態であり、必ずしも問題ではない。画像の形状は画面の端よりも中心近くのほうが制御しやすい。画像を制御して、直線が実際にもまっすぐな線に表示されるようにすることができる。極端なオーバースキャンは、画像が圧迫するような印象を与え、逆効果になる場合がある。オーバースキャンが過度であれば、支払った代金よりも実際には小さなディスプレイを手にしていることになる。モニタを比較するときは、画面サイズよりはむしろ表示されている実際の画像サイズを考慮すべきである。

14.4 アスペクト比

モニタ画面の幅と高さの関係を**アスペクト比**(**縦横比**)という。現在、ほとんどすべてのモニタの画面形状は、画面の奥にあって画像を作り出しているCRTの形状と同様に標準化されている。画面は、幅が高さの1.33倍で、ワイド画面が優勢になる前にテレビや映画で採用されていたアスペクト比と同じ4:3である。

しかし、画面上の画像は管と同じアスペクト比である必要はない。水平走査と垂直走査の信号を生成している回路は、モニタの電子回路とは別になっているので、それらの信号は個別に制御されている。したがって、両者の関係は調整が可能であり、調整によって実際に表示される画像のアスペクト比を変更できる。たとえば、水平信号の振幅を増幅すれば、画像の幅は引き伸ばされ、アスペクト比は大きくなる。

通常の場合は、水平信号と垂直信号の相対的な利得(振幅)は、正しいアスペクト比で画面上に表示されるように調整されると思ってよい。しかし、ディスプレイが異なる規格に基づく信号を表示しようとすると、問題が生じる。この不一致は特にVGAディスプレイの場合はやっかいである。VGA規格では、それぞれまったく別の3種類のラインカウント(350本、400本、480本)で画像を作成するようになっているからである。

ほかはすべて同じなら、350本の線で作成されている画像は、480本の線で構成されている画像の高さの4分の3以下となる。したがって、VGAディスプレイでEGA互換モードを使って図形を作成すると、その図形は押しつぶされたようなものになってしまう。円を描いても楕円のように見えてしまい、オレンジも瓜のようになってしまうのだ。

画像サイズ

IBMのモニタは同期信号の極性を判別すること(ポラリティ)によって、こうした画像のつぶれを補正している。水平同期信号および垂直同期信号がどのような極性で入力されているかによって、どのモードおよびどのラインカウントで画像が設定されようとしているかをモニタに知らせる。そうすると、画像のライン数に関係なく正しいアスペクト比にするために、モニタは垂直方向の利得を調整することによって補正を行うのである。

すべてのモニタがIBMの同期信号システムを利用しているわけではなく、そういうモニタでは表示モードを切り換えると、押しつぶされたようなグラフィックス表示になる。一方、**オートサイジング**と呼ばれる技術を使っているモニタもある。これは、ディスプレイアダプタがどのようなビデオ信号をモニタに送っていようとも、つまり、VGA同期信号判別に関係なく、モニタが一定の画像サイズを維持できる技術である。モニタメーカーはいくつかの異なる方法でオートサイジングを実現している。真のオートサイジングは、モニタに送られる信号の種類にかかわらず動作し、ラインカウントに適合した大きさに画像を縮小拡大する。モード感知オートサイジングは、信号の周波数から画像に使われている表示モードを決定し、その信号のラインカウントに適合するように、サイズをあらかじめ設定された標準に切り換えている。VGA同期信号判別をモード感知オートサイジングと組み合わせているモニタが多い。

画像制御

いくつかのモニタ(大多数というにはほど遠いが)では、つまみを回すだけでアンダースキャンやオーバースキャン、異常なアスペクト比に対処できるようになっている。これらのディスプレイには、縦横サイズ(利得)調節つまみがあり、これらのつまみで自分の好きなように画像のサイズと形状を調節することができる。たとえば、(十分な調節幅があればの話だが)実際の画像が画面枠の上下左右一杯まで届くように拡大したり、ディスプレイの明るい表示域を画面中心に向かって小さく縮小(ただし形状は完全なままで)することもできる。

サイズと位置を調節するつまみで、モニタの画像をどれくらいの大きさにするかを自由に選択できる。調節幅が十分あれば、画面の隅から隅まで一杯になるまで画像を拡大することも可能だし、また、ブラウン管の端近くではどうしても形状の歪みが生じるので、その歪みを最小限に抑えるために、画像を縮小することもできる。モニタには水平位置(位相)、垂直位置、水平サイズ(幅)、垂直サイズ(高さ)の調節つまみがあれば十分だ。

調節幅は広いほうがよい。1個または数個の調節つまみを節約して、画面上の画像の大きさを調節する範囲を狭めているモニタがある。さらには、調節つまみがまったくないモニタすら見かける。たとえば、水平サイズ調節つまみのないモニタだと、画像のサイズもアスペクト比も調節できないということになる。

これらのつまみの位置として最適なのは、フロントパネル部分である。ここにあれば、画像を見ながらつまみを調節できる。つまみが後部パネルに付いていると、結果を確かめながら調節するには、モニタの後ろまで回せるゴリラのように長い腕が必要になる。

モニタに付いている画像調節つまみには、アナログ式とデジタル式の2種類がある。**アナログ式調節つまみ**は、旧式のテレビによく見かけるお馴染みのつまみのことである。一方向に回すと画像が大きくなり、反対方向に回すと小さくなる。アナログ式調節つまみには長所が1つある。つまみが回転範囲の限界まで左右いずれの方向に回されていても、つまみを見ればどこに設定してあるか判るという点である。つまみ自身が簡単な記憶装置であり、一度設定すると、次に動かすまでその位置に設定されたままである。ただし、アナログ式調節つまみは日が経つにつれて汚れたり摩耗するという欠点がある。また、通常1つのつまみには1つの数値しか設定できないため、その1つの数値でモニタのすべての操作モードをカバーしなければならない。

一方、**デジタル式調節つまみ**は、画像のパラメータをプッシュボタンで調節できる。1つのボタンを押すと、画像が大きくなったり、左へ移動した

りする。もう1つのボタンは、それと反対方向に補正を行う。各モニタが表示できるあらゆるビデオ規格に対応して、様々な画像の高さと幅をあらかじめ設定できるように、通常デジタル式調節ボタンは、マイクロプロセッサ、メモリ、モード感知回路と連結されている。

デジタル式調節ボタンは年月が経ってもノイズが発生せず、アナログ式よりも信頼性が高く、反復使用が可能だが、設定範囲のどの位置にあるかがまったく判らない。ほとんどは二段変速操作になっており、一瞬だけ押さえると微細な変更を行い、ボタンを押し続けると、変速して大きな変更を行う。もちろん、変速することを知らないと、希望する設定を過ぎてしまったり、希望する正確な設定に修正するのに時間が少し余分にかかることになる。

サイズや位置の調節つまみは、LCDやそれに代わる類似のディスプレイ技術には関係ない。LCDパネルの場合、ディスプレイメモリとの接続が直接的なため、メモリロケーションが画面上の各位置にほぼ正確に対応しているからである。画像はそれを構成しているメモリロケーションに永久に固定されているので、画像を動かしたり、形状を変えたりする必要はない。

CRTを基盤にしたディスプレイもまた、ほとんどがその先祖であるテレビからいくつかの調節つまみを引き継いでいる。ほとんどすべてのコンピュータモニタには、**輝度**調節つまみが付いており、このつまみを使って、画面を走査する電子ビームのレベルを調節して、画面上の画像を明るくしたり、暗くしたりできる。**コントラスト**調節つまみは、入力された信号と画像の明るさとの関係の線形性を調節する。信号レベルが異なることから派生する輝度の相互関係、すなわち、高輝度はどれぐらい明るくするかということを調節するのである。輝度調節機能とコントラスト調節機能を1つの〝画像〟調節つまみにまとめたディスプレイもいくつかある。2つのつまみをあれこれ調節するのに混乱してしまう人たちには天の賜物ではあるが、こうした一体型のつまみは、画像を調節する際の融通性に限界があるという欠点もある。

テレビには必ず装備されているほかの調節つまみは、通常高級なコンピュータモニタでも付いていない。付いていても意味がないからである。垂直同期や、カラー（色純度）、色合いを調節するつまみは、コンポジットビデオ信号にしか関係ないので、コンポジットインターフェイスディスプレイにしかない。垂直同期調節つまみは、不安定なコンポジットビデオ信号からの垂直同期信号を最もよく解読できるように、モニタを調整するものである。ほかのディスプレイ規格が使用している別の同期信号は、自動的に不安定さを取り除いている。カラーと色合いの調節つまみは、カラーサブキャリアと残りのコンポジットビデオ信号との関係を調節するだけで、コンポジットモニタでなければ意味のないものである。

14.5　フラットパネルディスプレイシステム

重さが40ポンドもあった第一世代のポータブルコンピュータを携帯したことのある人なら誰でも知っているように、CRTはポータブルコンピュータには不向きである。ブラウン管のガラスだけですでに現在のポータブルコンピュータより重く、またCRTの駆動には、ラップトップやノートパソコンの回路と周辺機器全体に配分されている量を超える電力を消費する。

ラップトップタイプのパーソナルコンピュータの設計に当たったエンジニアたちは、ブラウン管の代わりに利用できる、ありとあらゆる代替技術を試してきた。この中には、80年代にはパワーオン状態のインジケータとして使用された、悪魔の眼のように赤く光る発光ダイオード（LED）を詰め込んだパネルも入っている。しかし、LEDはとてつもない量の電力を消費する。一般的な普通サイ

ズのLED1個で輝度を最高にすると10～100mWも消費するため、ディスプレイの画面には約10万個の画素が必要だということを考えると、問題の大きさがどんなものかわかるだろう。確かに、LED画面の個々の画素は、パワーオンのインジケータとして使用されるものより小さく、電力消費量も少ないが、ポータブルコンピュータの初期に作られた小さなLEDディスプレイは、現在の技術水準で必要とされる電力の何倍もの量を消費していた。またLEDは、明るい光の中では画像が色あせする傾向があることや、大きな配列を構成すると費用が相対的に高くなるという問題もある。

これに代わる1つの方法として、高電圧をかけてガスをイオン化して発光させる**プラズマスクリーン**がある。プラズマスクリーンは、内部にネオンガスを使用しているため、ほとんどがネオン特有の赤味がかったオレンジ色の発光色である。プラズマディスプレイは、ラップトップコンピュータの画面にちょうどよい程度の大きさに作るのが比較的簡単で、しかも競合するどの技術にも負けない鮮明度を持っている。しかし、プラズマスクリーンも、LCD技術が必要とする量の数倍にのぼる多量の電力を必要とし、しかも高電圧が必要なため、主としてAC電源を使用するポータブルコンピュータで使用されている。これをラップトップコンピュータに使用すると、電池寿命が非常に短くなり、1時間程度になってしまう。

ディスプレイ技術競争の勝利者は、一般にLCDという略語で呼ばれている**液晶ディスプレイ**である。LEDディスプレイやプラズマディスプレイは可視光の光子を放出して自力で発光するが、LCDはこれらとは異なり、発光のために電力を消費しない。自力で発光しない代わりに、LCDは別な形で得た光をただ単に遮断しているだけである。LCDの仕組みでは、自然光や室内の光源の反射光（反射光を使用するタイプのLCDを**反射形LCD**という）か、もしくは、LCDパネルの背後（**バックライトLCD**）やLCDパネルの近く（**エッジライトLCD**）にある二次光源からの光を、部分的に遮ることで画像のパターンを目に見えるようにする。バックライトの光源で一般的なのが**エレクトロルミネセント（EL）**パネルであったが、最近では、表示をもっと白く明るくするために、光源に**冷陰極蛍光管**（CCF：Cold－Cathode Fluorescent）を使っているラップトップコンピュータもある。ただしその場合、高価で、厚みも増し、複雑な機構になるという代償が伴う。

LCDパネル自体に使用されている技術を表わすのに、〝スーパーツイスト（super-twist）〟、〝ダブルスーパーツイスト（double-supertwiat）〟、〝トリプルスーパーツイスト（triple-supertwist）〟など様々な用語が多数く使われている。実際に、結晶をねじる（ツイストする）ことによって、画面のコントラストが制御されており、トリプルスーパーツイストだと、通常のスーパーツイストよりもコントラストがはっきりしている。

ラップトップとノートパソコンの歴史は、LCD技術の革新に導かれてきた。1960年代にRCA社が開発したLCDは（General Electric社は現在でもRCAの基本特許の使用料で利益を得ている）、電力使用量が少なく、しかも軽量で丈夫であったため、ラップトップコンピュータに使用されてその真価が認められた。

実際のLCDは、細長い棒状の分子、すなわち、〝ネマティック〟形の分子で構成された特殊な液体を、2枚のガラス基板で挟み込んだサンドイッチのような形状をしている。液晶のネマティック分子が持つ重要な特性は、ガラス基板上に形成された溝に並べて、透過する光の方向を曲げることができるということと、さらに液晶分子に電圧を印加すると分子のねじれの状態が変化し、光の透過率を変えることができるということである。

通常の光には特定の方向性はない。したがって、液晶も光の方向を変えるわけではない。偏光とは光子の振動が一方向に揃ったもので、また、偏光板は、特定方向の光（特定の振動軸を持った光）のみを透過させることによって偏光を作り出すものである。この偏光という働きがLCDの表示機能のポイントになる。

LCDの原理はおおよそ次のようなものである。まず光を1枚目の偏光板にかけて偏光させる。2枚目の偏光板は、1枚目の偏光板の反対側にあって、最初の偏光方向に対して直角方向の光を通過させるように置かれている。普通であれば、最初

の偏光板を通過した光は2枚目の偏光板ですべて遮られることになる。しかし、最初の偏光板を通過した光は液晶を通るときに、液晶の分子によって方向が曲げられ、2枚目の偏光板と一直線になるように向きが変わり、2枚目の偏光板も透過する。液晶に電流を流すと、分子のねじれの状態が変化し、結果として2枚目の偏光子を透過する光の量が変わる。

LCDディスプレイを作る際には、液晶を小さな区域に分けて、どの区域に電流を流すか選択できるようにするだけでいい。前述の原理により、電圧を印加した区域は暗くなり、電圧を印加しない区域は明るくなる。こうして画像パターンが形成されるのである。LCDの背後に光を置くと、白黒のコントラスト比が大きくなる。

過去数年間にエンジニアたちは、LCDのこの基本設計にいくつか改良を加えて、コントラストとカラー表示を向上させてきた。先にその概要を触れたLCDの基本的な設計は、技術用語で**ツイストネマティック**技術、または頭文字をとって**TN**と呼ばれている。TNディスプレイの液晶分子は電圧を印加されない状態では、ディスプレイを構成している直交する2枚の偏光板に正確に対応して、光を90度曲げる。

ネマティック分子による光の屈曲角度を大きくすると、明暗のコントラスト比を大きくすることができる。光を180〜270度屈曲させるLCD設計は、〝スーパーツイストネマティックディスプレイ〞または単に**スーパーツイスト**ディスプレイという。ねじれを大きくすることで生じる副作用は、色が人工的になってしまうことで、結果として普及している多くのLCDの表示は、黄色がかった緑色か、明るい青色のいずれかの色合いとなっている。

このような表示の色合いは、2つのスーパーツイスト液晶を背中合わせに取り付けて、1つの液晶がもう1つの液晶とは反対方向に光を屈曲させることによって、取り除くことができる。この設計は〝ダブルスーパーツイストネマティックディスプレイ〞または略して**ダブルスーパーツイスト**ディスプレイと呼ばれている。現在このLCD設計は、VGAクラスの白黒ディスプレイを搭載したラップトップコンピュータで一般的に使用されている。ただし、この設計にも固有の欠点がある。ユーザーと光源との間に2つの層があるため、表示が暗くなってしまうのである。これを避けて、適度な鮮明度にするには、もっと明るいバックライトが必要になる。

トリプルスーパーツイストネマティックディスプレイでは、液晶の両側をポリマーの薄膜とすることで、スーパーツイスト設計において表示が一定の色合いになってしまう問題を補正している。両側の膜は、ダブルスーパーツイストの2つのパネルに比べて吸収する光の量が少ないため、画面を同じ明るさにするのに要するバックライトの明るさと電力が少なくて済むのである。

ネマティック分子の向きを揃える電流がどのように加えられているかによって、LCDは2つの方式に分かれる。ほとんどのLCDパネルでは、伝導体が格子状に並んでおり、各画素はこれらの伝導体の交差点にある。伝導体によって液晶に電流を送るだけで画素は暗くなる。このタイプのディスプレイを**パッシブマトリックス**ディスプレイという。

この方式に代わる**アクティブマトリックス**は、一般的には**薄膜トランジスタ（TFT）**技術と呼ばれることが多い。この方式のLCDでは、各画素ごとにリレーの役割を果たすトランジスタを設ける。縦横の格子によって少量の電流をトランジスタに送ると、トランジスタがもっと高い電流に変換して流し、LCDの画素を活性化させる。アクティブマトリックス方式の長所は、格子に流す電流が少なくてすみ、画素の点滅速度を早めることができることである。パッシブLCD画面の場合、更新速度は毎秒約6回程度と思われるが、TFT方式ではその10倍の速度となり、普通のモニタと変わらない動作速度である。速度が向上するということは反応速度が向上するということであり、たとえば、マウスを画面一杯に動かしても、カーソルが消えたりしなくなる。

TFT方式の欠点は、スクリーン上の各画素ごとに、1つずつトランジスタを作り込む必要があるということである。トランジスタを各画素ごとに配置するためには、LCDと半導体の各製造工程を結合する必要があるが、これは、れんが職人と

大工とを一緒に働かせるようなものである。

これがカラーになると、設計と製造が複雑になるだけでなく、費用もかなり余分にかかる。その追加費用は、カラーLCDの付いたラップトップコンピュータ1台につき2,500ドルといった単位である。カラーのLCD画面を作るために、数多くの技術が試されてきた。そしてその中でも最も顕著な結果は、TFT技術とカラー表示を結びつけたときに現われた。これによって、価格は高いが、輝度が高く反応の早いディスプレイが実現されたのである。この方式を使った最高級のディスプレイの画像は確かに素晴らしく、しばしばカラーCRTよりも画像品質が良いことがある。ただし現時点では、興味はあっても購入するのには非現実的な価格帯である。

解像度はLCD画面にとって重要な要素である。解像度は、テキストの文字や図形がどのような鮮明度で見えるかを決定する。現在、解像度において支配的な規格は、CGA (640×200)、ダブルスキャンCGA (640×400)、それにVGA (640×480) の3つである。

これら3つの中でVGAは、現在最もポピュラーなデスクトップコンピュータのディスプレイとまったく同じ規格で、同じソフトウェアとドライバを使うことができるため、ほとんどの人に支持されている。

CGAの解像度は明らかに画質が劣り、文字はずんぐりとして読みにくいため、使用されているのは値段が最も安いラップトップコンピュータだけである。

ダブルスキャンCGAは、コストと解像度の間でうまく妥協点をとったものである。事実、鮮明度はテキストモードのCGAに匹敵するほどである。広範なソフトウェアのサポートがないため、グラフィックスでは問題が出てくるが、Windowsの下では、ダブルスキャンCGAシステムの多くが、東芝およびAT&Aの640×400ピクセルのドライバと互換性がある。

VGAはLCDディスプレイの場合特殊な問題が発生する。VGAは名前は1つだが、実際には3つの規格が含まれており、それぞれ画面を350本、400本、480本という3種類の数の表示線で構成するモードで動作するからである。これに対し、ほとんどのVGAディスプレイパネルは、480本のドット列による構成となっている。

本数の少ない表示線で作成したVGAの画像には1つの問題が生じてくる。ラップトップコンピュータのLCD画面の多くは有効な線だけを表示し、画面の残りの部分を空白のまま残す。たとえば、表示線が480本のLCDで400本のモードを選んで表示した場合、残りの80本は空白のまま残されてしまい、結果として画面の上下には黒い帯が表示されるのである。

VGAテキストは普通400本のモードで表示されるため、この帯は余計に目障りとなる。多くのメーカーがこの状態の改善をはかって、VGAテキストを640×480モードに切り換え、もっと大きくて読みやすい文字を使って画面全体を埋めている。選択の自由があれば、恐らく次のラップトップとしては、この方法を採っているものが欲しくなるだろう。

14.6　モニタの電子回路

画面上に現われる画像は、ディスプレイシステム全体の物語のほんの一部にしかすぎない。パーソナルコンピュータからのビデオ信号は、モニタ内部の電子回路で増幅し、さらに処理を加えて、正しい画像を表示するために適切な強さとタイミングの関係を達成しなければならない。

モニタ内の基本的な電子部品は**ビデオ増幅器**である。名前から分かるように、この回路はコンピュータから受け取る約1Vの強さの信号を、陰極から蛍光体へ電子ビームを打ち出すのに必要な数千ボ

ルトの電圧へ増強（増幅）するものである。モノクロのモニタにはビデオ増幅器は1つで、カラーモニタには3つ（3原色の各色に1つずつ）ある。

アナログ式カラーモニタでは、3つの増幅器は正確に整合され、完全にリニアでなければならない。つまり、各増幅器は入力と出力とが正確に比例し、しかもほかの2つの増幅器と増幅率が整合していなければならないのである。この増幅器の間の関係を**カラートラッキング**という。もしその増幅率がそれぞれ異なると、画面上の画像の色がソフトウェアの意図していたものと違ってしまう。

カラートラッキングが不完全だと散々な結果となる。カラーの制御に精度がなくなるからである。これは、とりわけデスクトップパブリッシングやプレゼンテーションといった目的で使用する際には大きな問題である。カラートラッキングが不完全だと、最終的に用紙上やフィルム上に出力される内容の正確な試写としての役割を、画面に望めなくなるのである。ビデオ装置で表示可能な色の種類のかなりの部分が失われてしまうことすらある。

これは、3つの増幅器間で増幅率に違いがあることによって、3原色の中の1色が強調されたり弱くなったりして、画像に微妙な明暗のむらを引き起こしてしまうためである。この明暗のむらは、灰色を表示している場合に最も顕著に表われる。灰色の色味が優勢な色に偏ってしまうのだ。

モノクロのディスプレイの場合には、カラートラッキングについて心配する必要はないが、それでも増幅器の品質によって、表示可能なグレーのスケール（白から黒までの濃淡）が決定される。増幅器に異常があると、モニタがグレーの階調の範囲の一部を失うことがある。

ビデオ増幅器の入力信号と出力信号との関係は、いつもリニアであるとは限らない。つまり、入力信号が変化したとき、それより大きな変化が出力信号に生じることがあるのだ。言い換えれば、モニタは入力信号のカラーあるいはグレーの階調の範囲を強調し、コントラスト比を大きくすることがあるのである。入力と出力との関係は増幅器の**ガンマ**という単位で表わされる。ガンマ値が1であれば、入力信号と出力信号とが正確に対応していることになる。ただし、ガンマ値が1のモニタは、画像がパステル画のようなぼんやりした色合いになりがちである。ガンマが高いほうが画像のコントラストが強調されるので、通常は1.5から1.8程度のガンマを好む人がほとんである。

現在のVGA、Super VGA、そしてこれらよりももっと鮮明度の高いディスプレイシステムだけでなく、CGAやEGAといった古いグラフィックスアダプタとも互換性のあるモニタが欲しい場合は、**TTL入力互換機能**を持ったモニタが必要となる。現在のコンピュータモニタの大半はアナログ入力だけなので、これらの古い規格が使用しているデジタル（TTL）信号は正しく表示することができない。また、こうしたモニタの場合**カラーサポート**もチェックする必要がある。CGA規格と互換性を持つには、モニタは16色のデジタル入力を処理できなければならない。ちなみに、この16色のデジタル信号はこれを構成する4つの信号、すなわち、赤（Red）、緑（Green）、青（Blue）、輝度（Intensity）の頭文字をとって**RGRI**と呼ばれることがある。EGAと互換性を持つには64色の表示能力が必要である。

信号規格が複数ある現状では、幅広い同期周波数に同期できるということがモニタのほとんど必須に近い条件になっている。対応しなければならない周波数は2種類ある。1つは**垂直周波数**で、**リフレッシュレート**とか**フレーム周波数**と呼ばれることもあるが、これによって画面の更新頻度が決まる。もう1つは**水平同期周波数（水平走査速度）**で、これは画像を形成する1本1本の走査線を描く速度を表わすものである。

これらの周波数の範囲によって、モニタがどのビデオ規格と互換性を持っているかが決まるため、ユーザーにとって重要である。IBMのCGAでは、15.75kHzの水平周波数が必要である。MDAでは18kHz、EGAでは22kHz、VGAでは31.5kHzの水平周波数が必要である。Super VGAの解像度では、水平周波数は、使用されているリフレッシュレートによって異なる。56Hzのリフレッシュレートであれば35kHzが適当だが、VESAの72Hz仕様になると48kHzが必要である。

通常、必要とされる最低のリフレッシュレートは、MDA信号によって使用されている50Hzで

ある。VGAやほかのビデオ規格のほとんどが使用しているリフレッシュレートは、60Hzから70Hzの間である。

IBMの8514／Aなどの**インタレースシステム**やXGA仕様を初めて実現した機種には、帯域幅を制限した信号を使って画面上に多くの情報をのせられるように、テレビのために開発されたトリックが採り入れられている。トリックとは次のようなものである。画像を上から下へ1本ずつ走査する代わりに、画像の各**フレーム**を半分に分解して、2つの**フィールド**にする。一方のフィールドは奇数番の表示線で構成されており、もう一方のフィールドは偶数番の表示線で構成されている。電子ビームは画面を上から下へ走査していく際に、表示線を1本おきに照射する。下まで照射したら、もう一度上に戻って、今度は最初の走査で照らし残した表示線を照射して全体の走査を終える。

この技術による成果は、フレーム周波数が2倍になることである。画面を毎秒30回（普通のテレビのブラウン管の場合）走査する代わりに、上から下への走査が毎秒60回になる。毎秒30回のフレーム周波数だと目につくフリッカも、毎秒60回になると感じなくなる。しかし、簡単にはだまされない目を持った人もいて、結局のところインタレース走査した画像はちらついて見えるという評価になっている。

必要な帯域幅を抑えるために、インタレース走査はコンピュータディスプレイの信号にも使われている。フレーム周波数が下がると、伝送チャネルの必要な帯域幅も小さくなる。広く普及している規格の中では、IBMの8514／Aディスプレイアダプタのオリジナルの高解像度動作モードとXGA第一世代だけがインタレース走査を採り入れている。これらの44Hzというフレーム周波数では、はっきりしたフリッカが生じてしまうが、インタレース走査により、フィールドレートが88Hzまで上がる。インタレース走査のモニタのフレーム周波数ではなく、それよりも高いフィールドレートの垂直周波数に固定できるモニタが必要であるということに注意しなければならない。

各種のモニタについて通常列挙されている仕様の中で、最も一般的なものといえば、おそらく**帯域幅**だろう。これは普通MHz単位で表わされる。一般的なモニタの帯域幅は範囲が広く、12～100MHzという数字を目にすることもある。

理論的には、帯域が高くなればなるほど解像度も高くなり、表示できる画像もそれだけ鮮明になる。カラーディスプレイの場合、表示管のドットピッチが性能における最大の制限要素である。

一方モノクロのシステムの場合は、帯域幅が全体的な鮮明度の決定要素となる。IBMのディスプレイ規格では、極端に広い帯域幅は要求していない。帯域幅が大き過ぎると余って無駄なことがよくある。

モニタに必要な帯域幅は簡単に計算できる。通常、個々の画面ドットをアドレスするのに十分な帯域幅に、帰線時間（リトレース）を見越した幅を加えた帯域幅がシステムに必要である（帰線時間とは、電子ビームは移動しているが、表示をしていない期間のことである。たとえば、電子ビームは1つのフレームの最終線がある画面の底部までくると、次のフレームの最初の線が始まる画面の頭部へと移動しなければならないが、この移動時間が帰線時間である）。MDA規格で動作するTTLモノクロディスプレイは、1秒間に252,000個（720×350）の画素を50回、すなわち、毎秒1,260万画素という速度で表示を行う。同様に、コンポジットディスプレイは1秒間に128,000個（640×200）の画素を60回、すなわち、毎秒768万画素で、VGAディスレイは画素288,000個（テキストモードでは720×400）を70回、すなわち、毎秒2,016万画素の速度で表示を行っている。

帰線時間に約25%という広い余裕を取ると、パーソナルコンピュータで使用する場合はほとんど、TTLモニタなら16MHzの帯域幅があればよく、鮮明なコンポジットビデオディスプレイだと10MHzの帯域幅で十分であり、このように大抵のディスプレイ製品が必要とする帯域幅をかなり下回る数字となる。VGAの場合は25MHzが必要最小限である。

表14-2に、IBMの様々なディスプレイ規格で必要とされる帯域幅をまとめた。

表 14-2 IBM のビデオ規格のドットクロック(帯域幅)

ビデオ規格	ドットクロック
MDA	16.3MHz
CGA	14.3MHz
EGA	16.3MHz
PGC	25MHz
VGA (350 または 480 ラインモード)	25MHz
VGA (400 ラインモード)	25MHz
8514/A	44.9MHz

実際のアプリケーションでは、最悪の場合、ディスプレイは暗い画素の隣りに照射された画素を置くため、ディスプレイシステムが必要な実際の(論理的の反対の意味として)帯域幅は、ビデオ信号のドットクロックにシステムのオーバーヘッド分を加えた幅の半分である。

14.7 モニタの種類

IBM 規格のモニタの世界はとても混乱しやすい。その特性を過不足なく説明しなければ、自分が話したいと思っているディスプレイの種類を、相手に確実に正しく伝えることはできない。カラーであるとかモノクロであるとか言うだけでは不十分で、モニタが準拠する信号規格についても伝えなければならない。この規格を指定するのは、モニタに使用されているビデオアダプタであるが、複数のアダプタと互換性があるモニタもあるし、アダプタのほうでも使えるモニタの範囲に幅のあるものが多い。しかし、モニタの種類については、それぞれを表わす特定の用語がいくつかあり、それが一般的に使われているので、その用語を使えば正しく伝わるだろう。

モノクロ

〝モノクローム〞とは、まさにその語源に表わされているとおりのものである。〝モノ〞とは1つのことであり、〝クローム〞とは色のことである。したがって、モノクローム(モノクロ)モニタは、緑であれ、アンバー、白、暗褐色、あるいは深紅色であれ、とにかく1色で画像を表示するディスプレイのことである。モノクロモニタには、接続すべきディスプレイアダプタにモニタの種類が明記されていない。しかし、モノクロモニタには3つの種類があり、その中から正しい組み合わせを見つけださなければならない。4番目の選択肢はマルチスキャンモノクロディスプレイで、これはほとんどどのモノクロ信号でも受け付ける。

TTLモノクロ

IBM から売り出された最初のディスプレイは、モノクロディスプレイアダプタに接続するタイプで、ほかの目的で作られたモニタ規格とは明らかに異なる。入力に**デジタル**信号を使用し、水平同期信号と垂直同期信号にそれぞれ別の線を使用している。

このモニタのデジタル信号は、**トランジスタートランジスタ論理回路**(TTL)系の集積回路が使用している信号レベルと同じである。このチップは、論理0と論理1によって厳密に定義された電圧範囲で動作する(TTL チップの入力電圧レベルは 5V だが、この 5V をデジタルの1とみなしている。TTL チップで入力信号とみなされる最低電圧は

4.3Vである）。このモニタはTTL信号を使っていることから、TTLモノクロディスプレイと呼ばれることが多い。このディスプレイが接続できるのは、MDAディスプレイアダプタまたはそれと互換性のあるディスプレイアダプタ（Hercules社のグラフィックスボードを含む）に限られる。

TTLモノクロディスプレイは、現在コンピュータシステムと一緒に販売されているモニタの中では最も安い（モニタ技術としても最も古い）。メーカーがどこかで節約をはかろうとするときに使う手が、モノクロVGAシステムをTTLモノクロディスプレイシステムに取り替えることである。できればこうしたシステムは避けるべきである。というのは、Herculesグラフィックスをサポートしているアプリケーションの数が、VGAをサポートしているものよりも少ないからである。したがって、こうしたモニタの購入を考えるのは、テキストディスプレイしか必要なく、数ドルという金額でも自分にとってはとても大きいと感じられるときだけにしたほうが無難だろう。

コンポジットモノクロ

単に〝モノクローム〟という言葉以外に何の説明もないモニタは、コンポジットモノクロームモニタである可能性がきわめて高い。このタイプのモニタは、パーソナルコンピュータに使えるモノクロのディスプレイシステムの中で解像度が最も低く、CGAカラーディスプレイと同じ解像度レベルであるが、こちらの場合はCGAカラーディスプレイのように、低い解像度の埋め合わせをする〝カラー〟という利点がない。コンポジットモノクロームモニタは、家庭用やプロ用のビデオシステムと同じ信号を使っているため表示は見づらいが、大量消費市場用に設計されているため、モニタとしてはほとんどの場合価格が最も安い。接続できるのは、CGAディスプレイアダプタとそれと互換性のあるディスプレイアダプタだけである。IBMの「ポータブルPC」の内蔵ディスプレイは、実はコンポジットモノクロモニタだった。現在コンポジットモノクロディスプレイが使われているほぼ唯一の用途は、ビデオの映像を試写するマルチメディアシステムである。

VGAモノクロ

TTLモノクロモニタと同様に、VGAモノクロモニタはIBMの規格に準拠している。IBMのパーソナルコンピュータディスプレイとは異なり、モノクロームVGAディスプレイはすぐに一般に受け入れられ、数多くの互換モニタを生み出した。これらはすべてほかのビデオ規格とは互換性がないが、VGAスタイルの出力装置であれば、どれにでも接続可能である。

VGAモノクロディスプレイは、変更を加えなくても、どのVGAディスプレイアダプタとでも動作し、トラブルなくVGAグラフィックスを表示することができるが、もちろんこの場合もカラーの表示ではない。

マルチスキャンモノクロ

以上3種類のモノクロディスプレイは、固定した特定の周波数で動作するように設計されているが、マルチスキャンモノクロディスプレイは、送られてきた広範囲な周波数の信号に順応する。通常このタイプのモニタは、コンポジットからVGAまでどの規格のモノクロ信号でも処理することができる。組み合わせを間違えて表示ができなくなる恐れがない点以外に、固定周波数のディスプレイより有利な点はない。どの規格に準拠していても、モノクロを装備しているコンピュータシステムであれば、このマルチスキャンディスプレイに換えることができる。

現在では、マルチスキャンのモノクロディスプレイはあまり見かけなくなっている。ときどき市場に出てくることがあるが、普通の場合はちょうどCP／Mベースのコンピュータがそうであったように、需要があるときには市場から消えている。

14.8 カラーモニタ

IBM PC と PS／2 互換機に接続できるカラーディスプレイには 5 種類ある。**コンポジットカラー**、**RGB**(CGA)、**エンハンスド RGB**(EGA)、**VGA**、それに**マルチスキャン**の 5 種類である。

コンポジットカラー

VTR やビデオカメラに接続するような一般的なビデオモニタには、NTSC コンポジットビデオ信号規格が採用されている。この信号規格は、PCjr に組み込まれているディスプレイシステムや CGA アダプタに始まって、以来パーソナルコンピュータに長い間使用されているものである。コンポジット信号は決して消えてなくなるようなものではない。テレビやビデオ製品用としてコンピュータでグラフィックスを作成する場合には、今でもこの信号が使われている。また、いくつかのマルチメディアシステムにも取り入れられている。しかし、NTSC 規格が指定する 3.58MHz のカラーサブキャリアでは、色の鮮明度が制限されるため、一般的な用途にコンポジットカラー信号を使うのであれば、1 行 40 列のテキストが読み取れる程度というのがせいぜい期待できる最高限度である。いいかえれば、コンポジットカラーは特定用途向けの製品であり、毎日の通常の業務に使用するコンピュータに接続できるようなものではない。

RGB

IBM PC 用の最初のカラーディスプレイである「IBM 5151」は、3 原色にそれぞれ異なる 3 つのデジタル信号を使っていた。このため、加法混色の 3 原色の赤(Red)、緑(Green)、青(Blue)の頭文字をとった〝RGB〟がこの表示方式の名称となっている。もちろん、正確さに完全を期すなら、このタイプのモニタは CGA 規格の規定通りに RGBI というべきである。最後の〝I〟は輝度(Intensity)を指す。

インターフェイス信号を除けば、RGB モニタはコンポジットカラーモニタと動作様式が似ていて、周波数も同じであるが、アナログ信号の代わりにデジタル信号を使っている。NTSC カラーサブキャリアを必要としないので、インターフェイスによって帯域幅が制限されることはない。このため、RGB モニタはコンポジットモニタと同じライン数であるにもかかわらず、それよりもずっと鮮明に見える。RGB モニタは、CGA、EGA(その下の CGA モード)、互換性のあるディスプレイアダプタ、それに PCjr に使用することができる。CGA システムの解像度が低いために、CGA モニタは PCjr と同じ運命を辿っている。

エンハンスドRGB

画質を EGA クラスへ向上させるには、EGA 規格の 22.1kHz の水平同期周波数を処理できる、より高級なディスプレイが必要である。さらに、そのインターフェイスも多少異なったものになる。同じくデジタル信号であるが、3 原色のそれぞれに輝度の信号を加えている。EGA 信号は EGA に適合したインターフェイスがディスプレイに必要である。

CGA と同様に、EGA は本質的には時代遅れである。EGA を使った新製品は、今はもう販売されていない。自分の古いモニタが故障した場合は、EGA カードの使える新しいモニタを入手するよりは、VGA にアップグレードして時間を節約し、頭痛を免れる道をユーザーは選ぶであろう。

VGA ディスプレイ

VGA ディスプレイは PS／2 と共に登場した。このディスプレイでは、アナログ入力に加えて、VGA 規格に適合するように 31kHz の水平同期周波数を使用している。VGA は今やコンピュータモニタに要求される最低限の標準となっている。

マルチスキャンカラーディスプレイ

カラーのマルチスキャンディスプレイは、モノクロの製品よりも前にすでに発表されていた。当

時は、モノクロ規格で広く使用されていたのは1種類だけであった一方で、カラーについては少なくとも2種類の競合するIBMカラー規格が使用されていたからだ。初代のカラーマルチスキャンシステムの中には、NECの「Multisync」シリーズも含まれているが、このモニタがきわめて大きな成功を収めたため、このクラスのモニタ全部を〝マルチシンク〟と誤って呼ことがよくある。

マルチスキャンディスプレイでは、水平同期周波数と垂直同期周波数を特定の規格に固定していない。その代わりに、コンピュータシステムから送られてくる同期パルスに同調しようとするのである。もともとある信号に自動的にディスプレイ自体を適合させることによって、マルチスキャンカラーディスプレイは、ほぼすべてのビデオ規格に対応して動作することができる。

しかし、把捉できる周波数の範囲は限定されている。たとえば、メーカーが48～60Hzまでの水平同期周波数を処理できるようにディスプレイの仕様設定している場合、このようなディスプレイは、VGA規格で使われている70Hzの信号を処理することができない。

ほとんどのマルチスキャンディスプレイは、VGA規格すらも上回る周波数の信号を処理できるように設計されている。EGA Plusカードは、元来この潜在力を利用して作られたものである。IBMが8514／Aディスプレイアダプタを発表して以来、その規格との互換性を持たせるために、多くのメーカーが自社のシステムの周波数の対応範囲を拡大している。現在では、マルチスキャンディスプレイは大抵1,024 ×768以上の解像度を出せる信号に対応している。

14.9　入力信号とコネクタ

モニタは、サポートしているディスプレイ規格によって分類することができる。そしてほとんどの場合、その分類の基準は接続するディスプレイアダプタである。ディスプレイの互換性の範囲を知る際の基本的な方法は、コンピュータのリアパネルを調べて、モニタが使用している入力コネクタを確認することである。結局のところ、自分のコンピュータに接続できなければ、そのモニタは使えないということだ。

IBMが推進しているビデオ規格で、共通して使用されているコネクタが3種類ある。RCA式ピンジャック、9ピンDsub、それに15ピン〝高密度〟Dsubの3つである。これらに加えて、入力信号用にBNCコネクタを3個以上使用している高解像度モニタもある。

コネクタが3個というのは、IBMの主要なビデオ規格の数（4つ）よりも1個少ない。おかげで、大変やっかいな羽目に陥ることがある。不注意に間違った種類のモニタをディスプレイアダプタに接続すると、モニタに取り返しのつかない損傷が起こることがある。これを聞けば、3個のコネクタはそれぞれどんなもので、どれと接続すると命取りになるかを知りたくなるのは当然のことである。

ピンジャック

ステレオ装置やビデオ装置に使われている〝ブルズアイジャック〟（ピンジャック）を、IBMはカラーグラフィックスアダプタが接続できるコンポジットビデオコネクタに使用している。おびただしい数のメーカーのモニタやテレビの多くも、このコネクタを使用している。IBM製のディスプレイでは使われていないとはいえ、このコネクタを使うと、品質が多少落ちても構わなければ、代わりに使えるディスプレイの選択の幅は大きく広がることになる。

コンポジットモニタ（コンポジットビデオ信号とNTSCカラー信号のみを処理するモニタ）はカラーとモノクロ両方の中でも、最も広く使われ、値段も最も安い部類に入る。

CGAカラーカードまたはその互換カラーカー

ドを使えば、どのコンポジットビデオディスプレイでも使用できるが、信号によって表示可能な画質が制限される。つまり、モノクロとしては十分使えるが、カラーについては、40列のカラーモニタとしては大丈夫でも、80列のカラーモニタでは判読不能な画質になってしまうのである。それにもかかわらず、コンポジットビデオディスプレイはもともと多目的装置であり、コンピュータ入力が加わってさらに汎用性が増した。

デイジーチェーン

ピンプラグ式コンポジットビデオディスプレイの持つ副次的な利点は、ほとんどの場合入力ジャックと出力ジャックの両方が付いていることである。2つ1組になっているこれらのジャックを使って、複数のモニタを1つのビデオ出力装置に**デイジーチェーン**することができる。たとえば、コンポジットビデオモニタ6台をコンピュータの出力装置に接続して、教室や会議室でのプレゼンテーションに使用することも可能である。

多くの場合、ジャックはディスプレイを環状に接続するだけである（つまり、ディスプレイのジャック同士を接続して複数のディスプレイを接続するのである）。ディスプレイは単に入力ビデオ信号を橋渡しするだけで、それ以外に信号を変えたりすることはない。ほとんど無数のモニタを画質を損ねることなく、環状連鎖に接続することができるのである。しかし、モニタの中には内蔵のビデオ増幅器で出力をバッファするものもある。これらのモニタをデイジーチェーンすると、増幅器の質によっては、目につくような画質低下が生じることもある。

増幅器が内蔵されているかどうかを見分けるには、ディスプレイの出力端子を自分のコンピュータの出力端子に接続してみればよい。大抵の増幅器は逆方向には動作しないので、ディスプレイにバッファする増幅器があれば、画面上に何も表示されない。一方、入力ジャックに差し込んだときに得られる画像と画質がそう変わらなければ、増幅器はなく、信号は単にディスプレイの中を通り抜けることになる。

アナログ電圧レベル

コンポジットモニタの仕様には、入力信号の電圧レベルを示す数値が含まれていることがある。この電圧レベルは、コンポジットディスプレイを選ぶ場合には重要になることがある。というのは、これらのモニタは本質的にアナログ機器だからである。

アナログモニタでは、電圧レベルは電子ビームが画面上を照射する輝度に対応している。公称1Vのピークからピークの入力信号がビデオとコンピュータ業界の標準であり、どのコンポジットモニタも当然この信号を使っているはずである。しかし、IBMのVGAの要求する電圧レベルは0.7Vで、この標準とは少し異なっている。

ターミネーション

正しい性能を発揮するためには、コンポジットビデオ信号回線は75 Ωのインピーダンスでターミネート（終端処理）しなければならない。このようにターミネートすることで、正しい信号レベルが確保され、回路のインピーダンスが正しく整合されていないことで、知らない間に問題を起こすことがないようにしている。コンポジット入力モニタ（特に入力と出力とを分けているもの）は大抵**ターミネーションスイッチ**を備えており、このスイッチを入れると、75 Ωの抵抗がビデオ回線に接続される。デイジーチェーンの場合には、スイッチを入れる終端抵抗は1つだけで、それは必ず連鎖の端のモニタでなければならない。

終端抵抗のスイッチを入れたときにモニタを見ると、画面が暗くなるのがわかる。これは、抵抗がビデオ信号の約半分を吸収するからである。コンポジットビデオ信号はアナログ信号なので、電圧レベルに敏感である。終端になると電圧が半分に下がり、その結果画面も電圧の半減に対応して暗くなるのである。この場合、**暗い**画像が正しい画像であることに注意しなければならない。明るいほうが良いように思えるかもしれないが、そうではなく、明るいと、モニタの回路に過負荷がかかり、場合によっては誤動作が生じるのである。

ビデオ入力ジャックが1つで、ビデオ出力端子が付いていないコンポジットモニタには、通常終

端抵抗が取り付けてある。1つのCGAコンポジット出力装置に、このようなモニタを2台以上接続する（Yケーブルまたは Y アダプタを使用）のは賢明ではない。モニタを1台追加するごとに画像が暗くなるため（信号を複数のモニタに分割しなければならないため）、CGAアダプタは送り出す電流の量を増加しなければならなくなる。電流の量を増加すると、これが原因でCGAアダプタが故障する場合もある。

9ピンDsubコネクタ

IBMのビデオ規格は3つとも9ピンDsubコネクタを使用している。3つとは、モノクローム、標準RGB、それにエンハンスドRGBのことである。さらに事態を一層ややこしくしているのが、多くのモニタメーカーも、VGAディスプレイシステムや各社独自のディスプレイシステムに同じコネクタを使用していることである。

混乱しそうになったら1つの規則に従えばよい。つまり、接続しようとしているディスプレイアダプタのタイプがわかればよいのである。特にIBMモノクロームディスプレイをCGAアダプタに接続したときなど、選択を間違えるとディスプレイに致命的な損傷を与えることがある。同期周波数の不整合はディスプレイ内部の部品が加熱したり故障したりする原因となる。

不整合は見つけやすい。画像を見れば簡単に気付くはずだ。板すだれのような線のパターンが見えることもあるし、画面がフラッシュすることもある。また、垂直同期調節機能が突如として故障してしまったかのように見えることもある。これらの徴候が見えたり、ディスプレイからキーキーという甲高い音が聞こえたり、画面に何も表示されないようなときは、すぐにディスプレイの電源を切って、モニタの寿命が縮まらないうちに問題の原因を探さなければならない。

15ピン高密度Dsubコネクタ

15ピン高密度Dsubコネクタを付けているモニタを見たら、VGA専用かマルチスキャンかの別はあるが、それはVGA互換のモニタである。

今までのところIBMは、9ピンとこのコネクタとを間違えるという問題が起こらないように、うまく対策を講じている。モノクロディスプレイとカラーディスプレイの両方が同じコネクタを使っているが、接続されているのはどちらのモニタであるかをVGA回路が感知して、正しく処理できるようにしているのである。

IBMの8514と8515のディスプレイ、それに8514／AとXGAの2つのディスプレイアダプタは、ときどき別の信号を使うこともあるが、これらも同じコネクタを使用している。しかし、IBMはここでも信号にコードを挿入することによって問題が起こらないように対策を取っている。8514／AとXGAの2つのアダプタは、接続されているディスプレイの種類を感知できるので、不整合となるような信号を送り出すようなことはない。なお、8514と8515の2つのモニタはVGA信号で問題なく動作するので、普通のVGA出力装置に接続されても問題が生じることはない。

BNCコネクタ

本当の高解像度システムの場合は、信号はすべて独立した同軸ケーブルを使って受け取っている。一般に、このシステムではモニタを接続するのにBNCコネクタを使用している。1つ非常に都合のよい理由がBNCコネクタにはあるのだ。コネクタによって周波数処理能力は異なる。事実、標準的な15ピン高密度Dsubコネクタでは、そのコンデンサ成分（寄生容量、負荷容量）が帯域幅を制限することがあり、これは特に信号周波数が30MHz以上に上昇したときによく起こる。しかしBNCコネクタは、GHzといった範囲の周波数向けになっているので、通常のビデオ信号に制限を加えるようなことはほとんどないのである。

モニタが入力にBNCコネクタを使っている場合、その数は恐らく3個、4個、5個のいずれかであろう。BNCコネクタが3個のシステムでは、水平同期信号と垂直同期信号の両方を緑の信号に統合している。このような信号の混合方法を**シンクオングリーン**（sync－on－green：グリーンの信号に同期信号を入れること）という。3つのコネクタをそれぞれ赤、緑、青の3色の信号に使い、水平同期信号と垂直同期信号を1つにまとめて、4つ

目のコネクタをこれに使っているモニタもある。この方式は**コンポジットシンク**という。コネクタが5個のシステムでは、3個をカラー信号に、1個を水平同期に、残り1個を垂直同期に使用している。これは**セパレートシンク**システムである。

音声入力

音声と映像の両方の能力を持ったモニタ、特にコンポジット信号入力のものは確実にその数が減少してきている。しかし、この機能が役立つ場合が少なくとも2つある。1つは、現在パーソナルコンピュータでも利用が始まった新技術の、音声合成と音声デジタイズをオプションとして利用する場合で、もう1つはPCjrの3音声出力を増幅するときである。モニタの音声増幅器は、仕様が簡単なもの(音声周波数帯域幅が制限されていて、出力電力が1W未満)でも、大抵は前述の2つの機能のうちのどちらかを十分こなすことができる。

IBMのパーソナルコンピュータのラインアップの中で、最初から音声機能を備えたモデルは少ない。アクセサリを使うことによって、パーソナルコンピュータに音声を取り扱う機能を持たせることは可能だが、パーソナルコンピュータを使って得られる音声よりも、もっと質の良い音声を出せる回路を増設したい場合がある。アドインアクセサリをステレオシステムに接続するには、パッチコード(両端にプラグのついたコード)を使えばうまくいくだろう。

14.10 モニタの安全性

パーソナルコンピュータを使用することは、ある意味で危険であるといえるが、その場合、ほかの作業に伴う危険とは少し性質が異なる。パーソナルコンピュータでは化学的な危険は発生しない(もっとも、パーソナルコンピュータの製造工程では、環境に影響を与える科学物質や技術が使われているが)。しかし、パーソナルコンピュータには、目に見えなくて、もっと油断がならないもの、すなわち、電磁波の脅威が伴っているのである。目に見えず、手に負えないこの潜在的な力は、アガサクリスティの小説に登場すれば申し分のない毒薬となる特性を持っている。無色、無臭、無味なのである。したがって、命取りの仕事を済ませると、あとかたもなく消え去ってしまう。

電磁波(EMR：ElectroMagnetic Radiation)は必ずしも悪いものではない。実際、電磁波は生命の根源である。たとえば、日光は電磁波のひとつの形態であり、また、日常生活でも電磁波はその有益な働きによって大きな役割を果たしている。トーストを焼く赤外線、電子レンジに使用されるマイクロ波、毎朝ダイアルを合わせている電波信号、日焼けさせる紫外線、病気の診断に役立つX線、これらはすべて電磁波である。

しかし、電磁波は過度に被曝すると、どの形態の場合でも危険である。X線は癌の原因となることが知られているし、紫外放射も別の種類の癌と白内障を起こす原因となる。赤外放射は物に火をつけたり、肌にやけどを負わす可能性がある。マイクロ波は、食べ物を内部から調理することができるが、白内障の原因に関係があるとされている。低周波の電波もまた、人を生きたままローストできる潜在的な力があり、最近ではこれよりもっと微妙な生体変化を引き起こして、ことによると癌の原因にさえなるということが発見されている。ある地点から、そしてある限度を超えたとき、有益な電磁波が健康障害へとつながるのである。

コンピュータの安全性ということになると、問題は、パーソナルコンピュータとVDT (Video Display Terminal)が善から悪へと続く物差しのどこに位置するかである。電磁波を発生する機器は、どれもみな健康問題を起こす原因となる可能性がある。パーソナルコンピュータ機器もまたこうした問題をもたらすのであろうか。

この問題をめぐる意見はどこにでも簡単に見つ

かる。事務所での長い1日の後、頭痛をおぼえる人は、誰もが自分の使っているコンピュータを犯人に結びつけがちであり、恐らくそれは正しいであろう。一方、今や机の上にあるパーソナルコンピュータは数百万台を数えるのに対し、それを常時使用している人たちの中で、仕事中に不可解な死を遂げたという事例は、このような疑義を引き起こすほど多くはないということを指摘する人たちもいる。この場合の論理的根拠は簡単である。私はコンピュータで仕事をしている。そして私は生きている。故に、私のコンピュータは私を殺していない。

逸話や意見とは対照的に、本当の答えはもっと見つけにくいものである。これらの問題の解明が十分でない理由の1つは、人間社会におけるパーソナルコンピュータの歴史はまだ浅く、10年も経っていないということにある。したがって当然のことながら、パーソナルコンピュータの職業に及ぼす災害の危険性を示す直接的証拠が欠けているのである。それに加えて、パーソナルコンピュータの使用に潜む危険は、今なおすべてが判明したり、理解されているわけではない。有益だと思われていた技術や商品が日常生活に受け入れられてから長くたって、予期していなかった恐ろしい副作用があることが判明する事例はよくある。

アスベストは1930年代に建築材として広く使われるようになったが、しばしば命取りにつながった影響が、40年以上も経過してから初めて明確にアスベストに結びつけられた。規制の制定はもっと遅かった。たとえば、ニューヨークは1985年になって初めてアスベスト規制案を可決した。文明は興隆しやがて衰退するが、その間自分自身が作り出したた猛毒によってむしばまれているのである。なぜなら、ローマ帝国の飲み水の多くを運んだ鉛管の場合のように、文明はときとして問題が引き起こされるメカニズムを理解していないからである。実際、ELF磁界、すなわち、パーソナルコンピュータが放出する電磁スペクトルの一部が健康に及ぼす影響は、2千年前の鉛管の毒性の場合と同じように、現在でも一般に人たちにとって不明で、得体が知れないままなのである。

もしパーソナルコンピュータのどこか一部に危険があるとしたら、それはモニタである。モニタは、危険性のある周波数と、すでに有害であることが判明しているいくつかの形態の放射線を扱うものである。VDTはすでに40年近く使用されていて、これについては健康に関するデータがかなり作成されているが、モニタはこのVDTと共通の特徴を多く持っている。モニタ技術とVDT技術は両方とも大体同じ周波数の信号を使っており、両方とも組成が同じ電磁波を数多く放射している。

しかし、VDTについても、健康に及ぼす影響の問題は、何十年にわたる研究にもかかわらず今なお解決されていない。VDTの安全性について、また同様にパーソナルコンピュータモニタの安全性についても、本当のコンセンサスはまだ得られていないのである。様々な研究の中で相反する結論が導き出されたため、互いに相手方の論拠ではびくともしない程相対立する2派が形成されてきた。一方は、電子機器メーカーとVDTを使う人たちを雇用している諸団体である。そして、これらの機器は安全だというのが彼らの信念である。他方、実際にVDTやパーソナルコンピュータで仕事をしなければならない人たちは、これに対して疑念を持っている。これは、技術的な問題に姿を変えた古典的な労使の対立である。

労働者側の見解は、電磁波の生体への影響や、VDT使用と健康問題との関連を示す様々な研究によって支持されている。これらの問題の中で最もよく知られているのは、流産の危険率の増加である。たとえば、カリフォルニア州のKaiser Permanente社のために行われた有名な研究では(1988年発表)、妊娠女性1,583人のうち、毎週20時間以上VDTを使っていた女性の流産率は著しく増大していることが示されている。

他方、VDTメーカーとその経営者側は、VDT使用者にこのような危険が何ら発見できないとするありとあらゆる研究(これらの多くは彼らが資金を提供したものである)を動員している。たとえば、VDTが発する電磁波を妊娠したハツカネズミ800匹に当てたトロント大学の1989年の研究では、自然流産とVDTの電磁界との間には何ら関係がないことが示されている。

もし自分が妊娠したハツカネズミであれば、こ

れは良いニュースであるかも知れないが、妊娠した労働者としては安心できないだろう。どの科学分野においてもそうであるが、VDT研究は解釈の余地が大きい。さらに、人間についてのVDT研究は、因果関係というよりは相関関係を明らかにするに留まっている。問題をVDT使用に結びつけてはいるが、本当の原因と結果の関係を立証していない。コンピュータ端末から出る電磁波が流産の原因である可能性もあるし、コンピュータ端末の何か別のものが、あるいは特定の研究の実施方法が、こうした結果に影響を及ぼした可能性もあるのだ。たとえば、Kaiser社の研究自体も、貧弱な人間工学への配慮や業務関連のストレスなどの測定されていない様々な職場の要素が、研究の結果に混入しているかも知れないことを認めている。事実、電磁波よりもストレスのほうが、VDT使用に関連した健康への影響の原因として考えられる第一候補になる。

一方、電磁波と、実験室の条件下で培養した組織の生体変化との間に、原因と結果の関係があることを見出した研究の数が増えている。パーソナルコンピュータやVDTが作り出す電磁界と同じ性質を持った電磁界に生体組織をさらしたときに、これらの影響のいくつかが発生している。

モニタやVDTが発する放射は、いくつかの帯域にはっきりと分かれる。それらの一部の帯域は、すでに健康への影響のあることが判明しているが、健康への影響がそれほどはっきりしない帯域もある。これらの周波数の範囲の中で最も重要なものとしては、X線、紫外線、マイクロ波、VLF、それに超低周波(ELF)の放射線がある。

X線放射

テレビのブラウン管、オシロスコープ、レーダー画面、コンピュータモニタなどの陰極線技術をベースにした機器に関連する危険の中で、恐らく最も広く知られているのはX線放射であろう。

X線は癌の原因になることが知られており、そのメカニズムもよく究明されている。X線は**イオン化する放射線**である。X線を構成する光子には、染色体のDNAも含め分子の化学結合を分解するのに十分なエネルギーが含まれている。光子が細胞内のDNAを変えると、その細胞の遺伝コードが変る。その細胞は突然変異を起こし、恐らくすぐに死ぬか、またはその活動に微妙な変化を生じる。細胞のDNAが変化し、その細胞が増殖してDNAの複製を作ると、こうした変化はその子孫に受け継がれる。この場合に起こる可能性の1つは、細胞の成長制御機構の変化である。そうなった細胞とその子孫は癌細胞と同様に早い速度で増殖し、抑制不可能となる。

1つの細胞がX線に反応して癌の原因となるという可能性は極めて小さい。しかし、相当の数の細胞が反応するだけのX線があれば、癌発生の可能性は現実のものとなり、憂慮すべき事態となる。

X線放射はカラーテレビの画面と関連づけられており、したがって、カラーのコンピュータモニタにも同様な関連があることになる。こうした関連づけは1960年代初期の恐怖物語に基づいているのだが、当時、初期のカラーテレビは実際に法外な量のX線を放出していた。

X線の発生には多くの方法があるが、その1つは電子の急速な減速によるものである。電子は減速すると、エネルギーを放棄しなければならない。電子の運動量に応じて、エネルギーの一部がX線として放出されるのである。

X線は2種類に分類される。波長が1/10～1nmの低エネルギーX線、すなわち、「軟X線」と、波長が1/10nm未満の高エネルギーX線、すなわち、「硬X線」の2種類である。軟X線は低エネルギーなので、透過能力はあまりない。一方、硬X線は人体を透過し、人体に影響を及ぼす。医療用X線は硬X線で、細胞に損傷を与える力がある。それ故、政府はX線照射に厳格な限度を設けているのである。

初期のテレビは高電圧の真空管整流器を使っていた。これは、表示管内で電子ビームを射出するのに必要な電流を発生させる小さな管で、本質的には小型のX線管であった。巨大な電子の集束を管の陰極から陽極へと通すことで、その機能を果たしていた。そして、電子は陽極で急速に減速するため、その過程でX線が放出されていたのである。

X線騒ぎの結果、最終的には米国連邦政府はテ

レビ(とコンピュータ端末)から放出されるX線に厳しい規制を発令することになったのだが、この騒ぎは現実に根ざしたものであった。腕の骨のレントゲン写真が撮れるほど強力なX線を放出していたテレビが一部にあったのである。

しかし、すべてのテレビがそんなに危険であるわけではない。事実、先の事件で刑事被告となるべき部分は、製造に欠陥のあったシャントレギュレータであることが判明しており、それらは陽極を正しくシールドしていなかったのである。このため、テレビの底から束線状の濃縮された電子ビームが放出されるていたのである。テレビをお腹にのせたりしなければ(そもそもテレビの重さが怪物のように数百ポンドもあった当時には、とてもできそうになかったが)、その影響は受けずにすんでいた。

さらに、高電圧の真空管整流器と分巻調整器は今や時代遅れで、これらはソリッドステートシリコンダイオードに取って代わられている。これらのダイオードはX線を放出せず、電子はシリコンダイオード内をゆっくりと減速しながら移動する。知っている限りでは、真空管整流器を使用しているコンピュータモニタはない。したがって、それを発生源としたパーソナルコンピュータのX線問題はないはずである。

しかし、CRTをベースとした機器にはすべて、X線を放出する可能性のある箇所がもう1つある。CRTはいずれも、画面のフェイス内部に塗布されている蛍光体へ電子線を射出することによって画像を作成している。蛍光体に当たると、これらの電子もまた急速に減速するのである。電子ビームから出るエネルギーは、大半が蛍光体を刺激するために向けられている。電子ビームによって刺激が与えられた蛍光体は、画像となる目に見える光を発する。このとき、その光の一部からX線が発生することがあるのだ。管内の電圧が高ければ高いほど、X線の束も大きくなる。カラーのブラウン管は30kVもの電圧で動作するため、20kV未満で動作するモノクロ管に比べて、何千倍ものX線を発生している(電圧が1 kV上昇するごとに、X線放出はおよそ10倍上昇する)。

だが、どのコンピュータモニタからも多量のX線が漏出しているなどということは考えられない。CRT内の電子ビームにはエネルギーがほとんどなく、発生するのはや軟X線だけである。この放射線は、CRTの特別製のフェイスガラスが効率よく吸収してくれる。

CRT自身は、奇妙な形をした単なるガラス瓶で、その細くなった先から金属製のピンが何本か突き出ているといった単純なものに見えるが、実際は複雑な創造物で、マイクロプロセッサの登場以前の消費財の中で、最も複雑な商品であると思われる。真空管は均一のガラスではなく、それぞれ特定の目的に適合したいくつかの種類のガラスを使って、精巧に作られている。真空管のフェイス部分は厚く、1/2インチ(約1.27cm)もあることがある。この部分は、ストロンチウムと鉛の成分の多いガラスでできている。そして、ストロンチウムや鉛が、真空管内のビームから放出されるX線をシールドする。

米国食品医薬品局(FDA：Food and Drug Administration)が制定した規則では、テレビと端末装置からのX線放出は、画面から5cmの距離で1時間当たり0.5ミリレントゲンを最高限度としている。これは画面から約2インチという距離なので、非常に接近して見る場合まで想定している。放出がこれ以上の機器は、米国での販売が禁止されている。さらに、この規定に基づいてX線放射を測定をする際は、結果が最悪となる条件下で行わなければならない。測定する機器のつまみやキーをすべてX線放出が最大になる位置(そんな位置ではまず動かすことがないというような設定位置)にするだけでなく、X線放出が最悪となる故障状態のシミュレーションも行わなければならない(たとえば、電圧調整器が故障すれば、CRTの電子ビームの電位が上昇する)。これらのシミュレーションは、試験中に装置が故障して大失敗に終わることがよくある。

FDAによる認可試験では、コンピュータ端末から放出するX線の量を以前に比べて引き上げている。たとえば、1981年の研究では、試験をしたビデオデータ端末12台につき約1台が1時間当たり0.5ミリレントゲンという限度を越えるX線を放出していることが判明した。問題があるとされ

たVDTは、最終的には(91台のうち)8台に絞られたが、これらはモデル数としては3種類であった。認可規定から外れたこれら3種類のモデルはリコールされ、放出規定を遵守するように改変するか、米国市場での販売を禁止するかのいずれかの措置が取られた。

コンピュータモニタの圧倒的大多数は、今や事実上X線放出はゼロである。実際のところ、鉛を多く含んだガラスを画面に使うことによって、X線のバックグラウンド放射のシールドが可能となっているのである。

紫外線放射

紫外線は日光の一部で、現在成層圏のオゾン層の減少に伴い増大の傾向を示している。「名は体を表わす」というように、紫外線の〝紫外〟とは、スペクトルの紫色よりも外側になる目に見えない日光の部分のことである。この部分は、可視光よりも波長が短い(180〜400nm)く周波数が高い。ということは、物理的に紫外線の光子は可視光の光子よりも強力ということである。実際、紫外スペクトルは電離線と非電離線との間の過渡的な範囲に広がっている。紫外線の光子には染色体を損傷するほどのエネルギーがあり、癌の原因に関連があるとされている。紫外線の光子は皮膚を焼くこともできるのである。そして同時に、紫外線をうまく利用すれば肌を守る健康的な日焼けといった反応をも引き起こすことができるのである。

しかし、X線とは異なり、紫外線はものを透過しない。大気の厚いオゾン層によってほとんどの紫外線の放射は阻止されるし、厚い綿のブランケットや薄いシャツでもかなり紫外線遮断の役割を果たせる。したがって、人体に対する紫外線の影響は、直射日光が到達することのできる箇所、つまり、露出している皮膚と目に限定される。紫外線にさらすと、皮膚癌、白内障、結膜炎(目の縁の炎症)、角膜炎(目の角膜の炎症)、痛み、光に対する軽い弱性の原因となることが現在では一般的に認められている。

現在では、紫外線の被曝量は蓄積していくということが明らかになっている。つまり、生涯にわたってその光線にあたる時間が長くなればなるほど、また光線が強ければ強いほど、好ましくない結果が生じる可能性が高くなるわけだ。また、生涯の中で早い時期に照射すると、後で照射するよりも影響が大きいと考えられている。

コンピュータモニタはいずれも、画像の可視光と一緒に若干の紫外線も放出している。しかし、最もエネルギーがあり、したがって最も危険な波長はCRTから漏出しない。普通のガラスは、波長が約350nm未満の紫外線を吸収する力が強い。したがって、紫外スペクトルの中で、CRTの放射に存在すると思われるのは、波長が350〜400nmの部分だけである(紫外線の始まる波長を380nmとしている文献もある)。

紫外線はある程度モニタからも放出されるが、波長が短くなるにつれて放出レベルが減衰し、ほとんどの場合、波長が約350nm以下になると事実上皆無となる。カラーモニタは大抵、同族(P22)の蛍光体を使用しているので、紫外線放出の特性は類似している。しかし、モニタの紫外線放出レベルはつねに可視光線よりも少なく、一般に可視スペクトルの最大放射量のわずか5%に過ぎない。対照的に、よくオフィスの照明に使われている〝デラックスクールホワイト〟蛍光灯などは、可視スペクトルの最大放射量の約20%にあたる紫外線を放出している。モニタの一般的な輝度レベルと米国職業安全衛生管理局(OSHA)が要求する事務所の照明レベルに基づくと、CRTの紫外線放出は、モニタを特別なテスト条件で動作させた場合(輝度とコントラスト比を最大に設定し、画面全体を点灯する)、机上の白い紙に反射した光線の1/4程度である。通常の動作では、モニタからの紫外線放出はこれよりも相当少なくなるであろう。つまり、確かにモニタは測定可能な量の紫外線を放出しているが、蛍光灯の照明の方が一般的なコンピュータモニタに比べて危険性は何倍も大きく、日光はさらにそれよりも大幅に上なのである。

マイクロ波放射

マイクロ波のエネルギーは電子レンジで加熱したり、レーダービームを地平線のかなたへ飛ばしたりする力のもととなるが、生体の細胞に影響を及ぼすことについては、すでにはっきりと証明さ

れている。電子レンジの中に入れたポテトやプードルを見ればわかるように、マイクロ波のエネルギーは熱調理を行う。メカニズムはよく判っていて、マイクロ波信号のエネルギーが水と脂肪の分子に刺激を与え、熱エネルギー（熱）としてそれらの分子に移動する。食物の中に誘導された熱は、飛び散るよりも早い速度で蓄積して温度を上昇させる。こうして食物はマイクロ波で熱調理されるのである。たんぱく質の細胞は、温度が上昇すると破壊され、細胞は死に、食物は料理されるのである。

マイクロ波はそれほど遠くない距離であれば、生きている組織を透過する。したがって、体の内臓をマイクロ波ビームで加熱することができる（殺してしまう可能性もある）。また、マイクロ波の熱エネルギーは、白内障の原因になることでも知られている。

マイクロ波よりも長い波長（VHFテレビやFM、標準的なラジオ放送に使われている信号の波長がその典型）でも、物体にエネルギーを移転させることによって熱を発生させるが、生物の組織に対してはそれほど反応しない。これらの波長は吸収されずに透過してしまう傾向があるからである。

電波スペクトルのマイクロ波とそのほかの放射線（つまり、周波数が約30kHz以上のもの）は、加熱という作用以外には何ら健康面については危険がないと考えられている。マイクロ波を白内障の原因に結びつけている研究もいくつかあるが、そうしたマイクロ波は大抵熱作用を引き起こすような強さである。熱作用のないマイクロ波が原因となった白内障も報告されているが、研究の大勢はこれに対して否定的な意見である。

マイクロ波やそのほかの電波の周波数で熱作用を発生させるには、きわめて強い信号が必要である。電子レンジは数百ワットというレベルで動作するが、コンピュータモニタがコンセントから引き出す電力は数百ワットに満たない。コンピュータモニタがマイクロ波を放出しているとはいえ、その量は少ないのである。事実、こうした放出は熱作用を発生するとされるレベルよりはかなり低いことを米国政府も保証している。米国連邦通信委員会（FCC）規則第15編B部（旧J部）に、熱作用が発生する放射レベルをかなり（何桁という単位で）下回る干渉基準が設定されており、コンピュータ機器はすべてこの規則第15編B部に準拠していることが認定されなければならない。健康に関わる放出基準が1メートル当たり数Vという単位であるという事実に基づいて、FCCの干渉基準ではマイクロ波の放出を1メートル当たり数μVという単位に制限している（正確な数値は周波数によって変わる）。

また、パーソナルコンピュータはマイクロ波のエネルギーを直接生成しているわけではない。マイクロ波は理論的にはコンピュータ内で生成される信号の調波として作り出されるが、マイクロ波信号のレベルは本質的に測定不可能である。

熱作用以外に、マイクロ波によってもっと低い信号レベルで発生する作用が存在する可能性がある。もしこうした影響が現実にあるとすれば、マイクロ波の低周波数変調の結果であろうと考えられている。また、この変調の影響は、もっと低い周波数の直接放射の作用に似ていると思われる。

ELF放射とVLF放射

電磁スペクトルの一番下にELF（Extremely Low Frequency：超低周波）磁界がある。厳密に定義すると、ELFに含まれる周波数範囲は3～30Hzであるが、一般的には範囲を拡大して、30,000Hz未満の周波数全体に対してこの用語を使用している。450kHz未満の周波数と同様に、ELFもFCCの認定過程では無視されている。ELFは無害であると長い間考えらてれきたが、現在多くの新聞記事や雑誌記事が、その安全性について疑問を投げかけている。

厳密にいえば、ELFは放射線ではなく、電源系統や、電気器具、そのほかの電気機器（コンピュータとその周辺機器を含む）の強力な電流によって生成される電界と磁界である。電界と磁界は相互に関連があり、同一の現象から発生するが、それぞれを分ける特性がある。**電界**は電位（電圧）を発生し、1メートル当たりのミリボルト数またはボルト数で測定するが、導電性の物体を使用すると比較的簡単に遮蔽される。他方、**磁界**は電流（アンペア）を発生し、1メートル当たりのミリアンペア

数で測定するが、ガウス単位で測定されることもある。なお、磁界の遮蔽は難しい。

送電線や配電設備から発生する強力なELFの電磁界と、癌発生の危険の増加との間に因果関係があるとする研究が最近数多く発表されている。また電気毛布やウォーターベッドのヒータも関係があるとされている。一部のコンピュータ機器が発生する電磁界に類似するELFの電磁界が、実験では生物に影響することが判明している。こうした影響には、細胞膜透過性の変化、胎児期の発育変化、それに癌細胞の成長促進がある。

ELF研究には2つの方法がある。1つは、細胞の培養と動物の組織に関する実験研究で、もう1つは疫学調査、すなわち、疾病者に関する調査から開始して、疾病者たちの間に共通の環境因子を統計的に探ろうとするものである。

送電設備の疫学調査は大抵、ELFの電磁界に触れることと病気との因果関係を示すという形を取っている。現在までのところ、これらの研究結果は因果関係ありとするものもなしとするものもある。しかし、ごく最近までは、疫学調査の結果は、ELFの大きな電磁界(電界と磁界自体は測定されていない)の存在と小児癌との間に、明確な相関関係があるとする以前の研究に対する批判に答えることを目的としていた。米国とスウェーデンでは、配電設備に関連したELFの強力な電磁界と癌との因果関係が発見されているが、それと対立する研究もまた発表されているのである。

組織の熱作用を発生するレベル以下のELFが生物に及ぼす影響の可能性について、過去約10年間精力的に実験研究が続けられている。その研究の中で明らかになりつつある結果によれば、ELFの電界と磁界は生物の組織には無害で相互作用がないどころか、有益な影響と悪影響の両方の形で微妙に作用する力があるということである。プラスの面としては、ELFの電界や磁界は骨折の治療に使用できる。明らかに骨の成長を促進し、治癒を早める作用があるのだ。マイナス面としては、ELFの電磁界が細胞膜のカルシウムの透過率に影響することが判明しており、これは神経組織における電気信号の伝達を含む様々な細胞の機能に影響を与える可能性がある。また、蛋白質の合成にも影響を与え、日周期(24時間リズム)を変更することが判明している。さらに、癌細胞の成長を促進することもあるようだ。神経系統が過敏になると、ELFの電磁界に著しく敏感になることがあり、これらの影響は潜伏して、特定の状況にだけ現れたり、もっと後になって現れる場合もあることが研究によって明らかになっている。

もちろん、これらの恐ろしい研究の結果のすべてが精査に耐えられるわけではない。実験の反復を怠っている研究結果もいくつかある。それに、もちろんこれらの実験研究は試験管内で行われたもので、人体への影響が同一であるという保証はまったくない。しかし、ELFの電磁界は、一時期考えられていたよりも低いレベルで生物に作用する力があるという点で、意見の一致が生まれてきている。

ELFの電磁界に関する発見の1つに、電離線としての作用は持たないということがある。たとえば、ELFの電磁波には、分子レベルで細胞の化学結合を変えたり破壊したりするほどのエネルギーがない。したがって、染色体を損傷することはない。代わりに、ELFの電磁界は、体内の生きている細胞で通常発生する電気変化のまねをするようである。たとえば、ELFの電磁界は細胞のカルシウム透過率を変えることによって、神経細胞の刺激に対する反応を変えることができる。この細胞の正常な作用の模倣が、ELFが癌を促進する潜在力の根源となっているのかもしれない。細胞膜の中でELFに反応する部分は、癌を促進する化学薬品の受容体の役割を果たすようである。さらに、ELFの電磁界は化合物のオルニチンデカルボキシラーゼの化学作用を増進させるようである。この影響も、癌促進と関連があるとされている。これらに加えて、ELFの電磁界は細胞のギャップ結合の機能を撹乱させ、これもまた癌の成長に関連する影響とされている。

ELFの電磁界には、研究を複雑にする奇妙な側面があることを発見した研究がいくつかある。化学的な発がん性物質と電離線は線形で作用すると考えられている。つまり、これらの危険は照射レベルが上昇すればするほど高くなるということである。ELFの影響の中には電磁波の強さに対して

も同様の関係、つまり、強くなるほど影響を増すという関係を示すものもあるが、〝ウィンドウイフェクト〟、すなわち、ELFの電磁界がある特定の強さ(または特定の周波数)のときにのみ生物への影響が発生し、それ以上およびそれ以下の数値では発生しないということを発見した研究もある。さらに、ELFのウィンドウエフェクトは、地球の磁界のように、静電界と静磁界の存在と方向に依存するようである。たとえば、ひよこの脳組織を調べた研究によれば、カルシウムイオンの束は、周波数60HzのELFの電磁界を1メートル当たり35V、40V、42.50Vの強さにしたときには変化が発生したのに対し、その強さを1メートル当たり25V、30V、45Vにしたときには何の影響も発生しなかったことが明らかになっている。

健康科学の研究者にとっては、ウィンドウエフェクトが存在するという可能性だけではまだまだ心配である。その効果が現実にある(その存在について今でも疑問が残っている)のであれば、適切な照射基準を設ける妨げとなる。人間の身体の大きさや形の違いは、ELFの電磁界によって体内に誘導される電圧と電流の強さに影響を与えるため、ELFの電磁界の影響は、それを被曝する個々人によっても異なることになる。

問題を一層複雑にしているのが、ELFの電磁界の波形で、これが生物への作用に影響するらしいのである。作用力が最も低いのは、商用電力の正弦波で、逆に作用力が最も高いのが、レーダーが生成するようなパルス電磁界とのこぎり波形の電磁界で、これらの発生源として代表的なものがテレビやモニタの走査回路である。

モニタは古くなると電界や磁界の発生量が増え、これらはほとんどの場合装置の上部か左側から放出される。しかし、現在ほとんどのメーカーでは、スウェーデンの測定試験委員会(国際的にはそのスウェーデン語のイニシャルのMPRで知られている)が同国で採用している厳しい放射基準を満たす新製品の設計を進めている。

MPR基準

スウェーデンの安全基準は、X線、静電界、低周波電界、低周波磁界など、モニタの放射の多面にわたっている。実際には、スウェーデンには2つの規格がある。古い規格(現在はMPR Iと呼ばれている)と1990年12月に発布された新しい規格「MPR II」である。MPR Iでは周波数が1 kHzから400 kHzまでの範囲の交流磁場にのみ焦点を合わせたものだったが、「MPR II」では基準の範囲を電界と磁界の両方に拡大し、その周波数対象範囲も5Hzまで下げている。この改定はユーザーとメーカーの双方にとって重要な意味を持っている。MPR Iにしか準拠していなくても、メーカーの中には自社の商品がスウェーデンの規格を満たしていると主張しているところもある。だが、MPR Iが取り扱っているのはモニタの放射の一面だけであり、基本的には水平走査周波数だけである。

MPR IIの規格では、モニタの周辺のいろいろな箇所について、注意深く制御した条件下で、電界と磁界の測定を特別に実施することが求められている。電界と磁界はともに、モニタ周辺の数十ヶ所につき、通常の作業を行うような距離をおいて2つの帯域(5Hz～2kHzと2kHz～400kHz)を測定する。電界は、下の帯域では1メートル当たり15V未満、上の帯域では1メートル当たり2.5V未満でなければならない。磁界は、下の帯域では250ナノテスラ(2.5ミリガウス)未満、上の帯域では25ナノテスラ未満でなければならない。

スウェーデンの規格は世界で最も厳しく、これに準拠しているということは、モニタが安全だということの一番の保証である。しかしながら、MPRに準拠しているからといって、安全が完全に保証されているわけではない。これら低周波の電界や磁界が安全であるか、そうでないかに分かれるレベルはまだ確定していないのである。実際、スウェーデンの規格で許容されている電磁界の強さでも生物への作用があるとする研究もあるのだ。

放射線防護

研究の現状に基いて、ELFの電磁界が危険だと考えるなら、その電磁界に触れるのを最低限に抑える措置も取るのも1つの方法だろう。たとえば、コンピュータとディスプレイの正面に座ること。正面はELFの電磁界が最も弱いからである。コンピュータモニタの両側近く、特に左側近くに座る

のを避ける。コンピュータ機器が発生するELFの電界も磁界も距離が長くなると急速に弱くなるため、人間工学的に良いとされる距離をコンピュータとそのディスプレイとの間にとって作業を行うことによって、それらの照射を最低限に抑えることができる。ただしこの場合、コンピュータとディスプレイと作業者との距離は、眼を細めなければディスプレイが見えなかったり、必要なものを取るのに手を無理矢理伸ばさなければならないといった長い距離にする必要はない。

モニタのELF放出レベルはコンピュータシステムよりも多い。この放射は、CRTが使用する走査信号に関係していると思われる。LCDディスプレイなどの代替技術に基づいたディスプレイを使用すれば、走査信号(空中にこれより充満している正弦波よりも危険性が高いと思われる)に関係する電磁界の発生を回避することができる。

コンピュータモニタがユーザーを殺すようなことはまずない。ELFに起因するとされる影響の最悪のものがたとえ本当だと判明したとしても、差し迫った健康に対する危険として恐らくもっと深刻なのは、(自分自身のものであれ、同僚のものであれ)体内に吸い込んでいるタバコの煙や、血管内のコレステロール、それに昼食のサンドイッチに塗るピーナツバターなどのほかの害から生じる危険である。

14.11 モニタの購入

モニタの品質を判断する最もよい方法は、実際にそれを見ることである。販売店まで出向いて、購入候補として考えているすべてのディスプレイを詳細に調べるのである。しかし、メーカーから電話やメールオーダーを使って直接購入する場合などは、事前に十分見ることができないだろう。さらに、モニタはかさばるため、抜け目のない交渉を行ってせっかく節約した金額を、運送費が軽く上回ってしまうことがあることも注意しなければならない。それでも、何を探すのかが判っていて、何を聞けばよいのかが判っていれば、自分の予算に見合った最適なモニタを確実に手に入れることができる。次に購入にあたっての注意点をいくつかあげておこう。

互換性の確認

どのモニタを選ぶにしても、最も重要なことは、そのモニタが、現在所有しているか、または使用を予定しているディスプレイアダプタで動くかどうかである。低価格のモニタを希望するのであれば、単一規格(固定周波数対応)のモニタで我慢して、節約すればよい。しかし、互換性を最大限に高めるために、標準信号だけでなく、標準外の信号にも対応するマルチスキャンモニタが欲しい場合もあるだろう。

マルチスキャンモニタでは、モニタが受けつける水平同期周波数と垂直同期周波数の範囲と、自分のディスプレイアダプタが生成する信号の周波数が合っていなければならない。この点に疑問がある場合は、購入しようと考えているモニタが自分が所有しているディスプレイアダプタで動くことを、販売店に確認してもらったほうがよい。

CRTの品質の確認

カラーモニタの品質レベルで最も大きく異なる点は、使用されているブラウン管である。同じ型式やよく似た型式で、ブラウン管だけが違うモニタを販売しているメーカーもある。注文する際には、必要としている品質のブラウン管を入手するのが何よりも大切である。広告を注意深く読んで、関心のあるモニタが使用している真空管の蛍光体のピッチ(ドットピッチまたはスロットピッチ)を確認すること。細かければ細かいほど(数字が小さければ小さいほど)よい。

付属品の確認

箱を開けてモニタを取り出すだけで、自分のコンピュータに接続できると一般には思われているに違いない。しかし残念ながら、メーカーの中には、最も重要な接続器具であるコンピュータとモニタをつなぐケーブルを付属させないところもある。したがって購入前には、モニタに必要なケーブルが付属されているかどうかを確認する必要がある。さらに、モニタが自分のディスプレイアダプタにつながるかどうかも確認しなければならない。一部のモデル、特に法外な値引きをして売られているモデルの中には、標準外の入力コネクタ(たとえば、VGA規格の15ピン高密度Dsubの代わりに9ピンDsub)を使っているものがいくつかある。モニタを自分のディスプレイアダプタに適合させるのにアダプタが必要な場合は、そのアダプタが付属品セットに含まれていることを確認すること。付属していない場合、必要なアダプタが見つかりにくいこともあり、しかも間違いなく高価であることに注意する。

また、自由にモニタの向きを変えられるチルトスタンドが付いていることを確認する。今日では、このスタンドはモニタの標準パーツと考えてもよいと思われるが、それでもまだ手抜きをしているメーカーもある。モニタにこのスタンドが付いていない場合は、スタンドを新たに用意する費用も計算に加えるのを忘れないこと。

運送費

メーカーからの直接購入の場合、運送費を計算に入れるのを忘れないこと。モニタは運送費が高くつくので有名である。14インチ以下の適当な大きさのディスプレイであれば、一般的にはユナイテッドパーセルサービス(UPS)の低価格の宅配便を使って送ることができるが、もっと大きなモニタになると、UPSが取り扱ってくれたとしても、恐らく重量超過代がかかる。大きな画面の高解像度モニタだと、UPSの制限重量よりも重くなり、どこか別の、料金がとて高い運送会社に依頼せざるを得ないかもしれない。

直接販売店へ購入に出かける場合は、各販売店の配送システムをよく調べること。販売店の中には、配送代として業者間の価格差を軽く上回る追加料金をとるところもある(大きな画面のものは特に)。数ドル高くなるが、郵税前払いで入手できるモニタもある。この方が、値段はもっと安くても、運送費とその上手数料の支払いまで要求されるものよりは安い買物であることが多い。

運送中の損傷の点検

モニタは運送費が高いだけでなく、運送中の衝撃に弱く、恐らくコンピュータ周辺機器の中で最も損傷を受けやすいものである。モニタを落とすと、コンバージェンスが変わってしまうこともある。しかも、必ず悪くなってしまうのだ。

モニタを受け取ったら、どこかに損傷が隠れていないかを必ず点検すること。外箱には運送中のひどい取り扱いの跡(角がつぶれたり、厚紙が破れたり、タイヤの跡があったりする)がなくても、モニタを角から角まで完全に点検すること。特に、電源が入るかどうか、そして画面の角でもコンバージェンスに問題がないことを確認する必要がある。

保証の検討

もしモニタが、部品がなくなって箱の中をがたがたと動き回る状態で到着したり、はっきりと見るのに3次元メガネが必要となるような画像だった場合、その調子の悪い装置をわざわざ海の向こうのメーカーの物流倉庫まで送り返したりはしたくないだろう。代わりに、すぐに代替品を送ってもらうか、現場で修理をしてもらうかのいずれかであればよい。

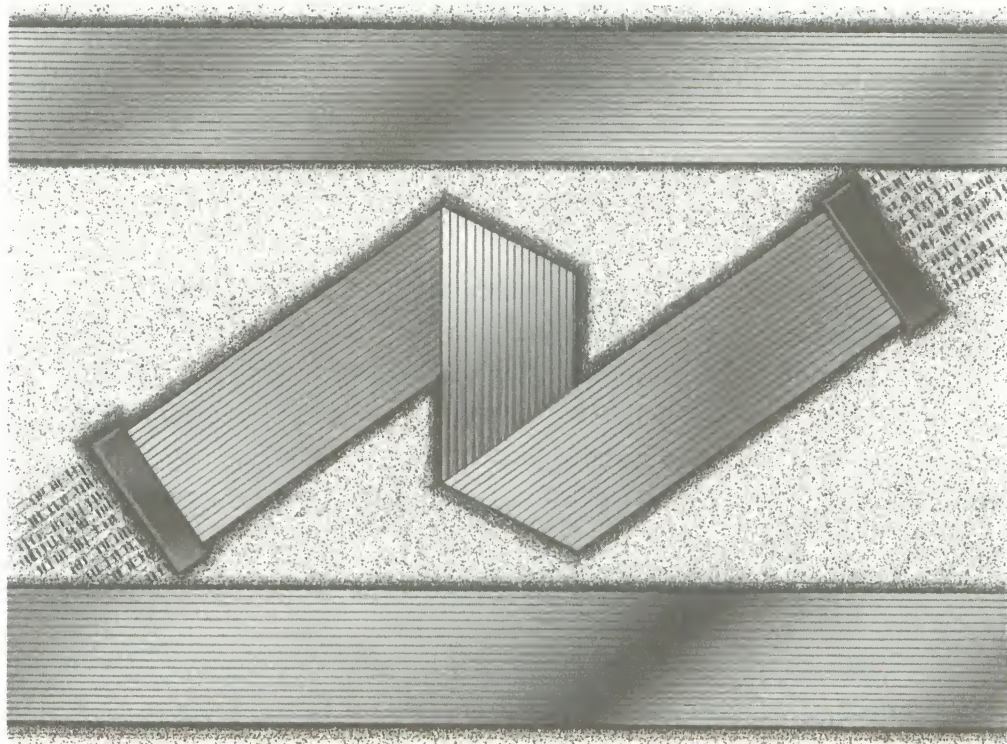
低価格と引き換えに両方とも諦めなければならないことがある。しかしそれでも、注文する際には、販売店のサービス方針を知っておくべきである。代替品を手に入れるまでどのくらい時間がかかるか、あるいは、欠陥品を返送して、修理後送り返してもらうのを待たなければならないのかどうかを確認しておく必要がある。販売店にサービス部門がない場合は、メーカーのサービス方針を確認し、最も近い修理センターの場所を調べておくこと。電話をして、モニタを修理して送り返してもらうまでにどのくらいの時間がかかるかを調べておく必要があるだろう。

モニタは、パーソナルコンピュータに接続する周辺機器のどれと比べても信頼性は劣らないが、問題が起こったときの修理代はほかよりも高くなることが多い。したがって、モニタの保証の期間と保証の範囲は考慮すべき重要なポイントとなる。

メーカーの中には、ブラウン真空管を別に保証しているところがあり、その保証期間はモニタ自体よりも長いことがよくある。保証範囲にこれが追加されていることは重要である。ブラウン真空管はモニタの原価の半分以上を占めていることを忘れてはいけない。

また、保証のサービスはどこで、どのように受けられるのかということも忘れずに確認する必要がある。最悪の事態が生じた時でも、せめて簡単にモニタの故障を直せる手立てがあれば安心であろう。

第15章

パラレルポート

パラレルポートは確実かつ便利で、高速伝送が可能な、そしておそらくパーソナルコンピュータの中では最もトラブルが少ない、周辺機器との接続部である。かつてはプリンタ専用として使用されていたが、その後は、この高速で確実なパラレルポートを利用する周辺装置は増え続けている。しかし、パラレルポートと一口にいっても、いくつかの種類があり、接続も異なっている。このため、たとえばプリンタ用のポートを使ってファイルを転送しようとしてもうまくいかない場合もある。これはすべてポートの設計が異なるためである。

パラレルポートという用語は、**プリンタポート**とほとんど同義である。**パラレル**という言葉は、このポートが、1本のケーブルにまとめられた8本のワイヤで信号を伝送する（1バイトのデータの1ビットを1本のワイヤで8本同時に伝送する）ことに由来している。パーソナルコンピュータから並行に伸びた信号線は、同じ目的地に向かって進む。IBMは、このパラレルポートを、PCに付属のプリンタ用の接続として採用したのである。

論理的には、8本のワイヤは1本のワイヤを使うより、8倍速くデータを伝送できる。パラレルポートは、パーソナルコンピュータと同じ方法で、つまりビット単位ではなくバイト単位でデータを処理しているという意味では、本質的にはシンプルな設計といえる。それゆえ、IBMもパラレル設計をプリンタの出力用に選んだのである。

今日でも、プリンタとパーソナルコンピュータを接続する方法としては、パラレルポートが最も簡単で最も確実であることに変わりはない。パラレルポートは、接続するだけでプリンタが確実に動作することが見込めるのである。たとえ動作中に不備が現われたとしても、それはパーソナルコンピュータとパラレルポートとの接続には何の関係もない。パラレルポートは、パーソナルコンピュータの世界では数少ない“プラグアンドプレイ”接続の1つなのである。

プリンタの中には、IBMのパラレルポートの規格に対して拒否反応を示し、場合によっては永遠に機能を停止してしまうものもある（ありがたいことに元々少ないその数は今日ではさらに減ってきている）。その上、新たに現われたほかの周辺機器は、パラレルポートの高速性と柔軟性を利用しようとしており、それらは、古い仕様のパラレルポートではサポートできないような機能を必要としている。パラレルポートはどれもみな同じと思っている人は、高速なデータのやり取りに安価なアドインポートを使用しようとすると、きっと驚くに違いない。

パラレルポートを見ても、外観からはその違いはわからない。また、プリンタとつないでいるときは、動作上にもその差異は見られない。ほかのほとんどの製品と同じように、パラレルポートの違いは、それを限界の状態で使用したときにのみ現われるのである。今日、パラレルポートは、アプリケーションや周辺機器がその性能に対する要求を増すにつれて、本当の姿と限界を徐々に示しつつある。

15.1 データのパラレル伝送

パラレルポートは、情報伝達の方法に対するハードウェアエンジニアの概念をそのまま反映したものである。2つの点をワイヤでつなぐことによって、ある場所にある信号が、それが必要とされている別の場所に接続される。信号が1つ増えれば、ワイヤも1本増える。8個のデータ信号は8本のワイヤで送受信される。行き来するすべての信号(たとえば、接続された2つの装置の一方がデータを受け取る用意ができていることを示すなど)は、それぞれ個別にワイヤがいる。

この設計は、少ない数のワイヤで複数の信号を一緒に処理する際に必要となる複雑な回路の代わりになる。実際、接続全体はあやつり人形のような仕組みで動いているのだ。このたとえに従えば、パーソナルコンピュータはプリンタなどの離れた場所にある装置を、その装置固有の線を操って動かしているというわけだ。パラレルポートの動きはこれほど単純なシステムなのである。

この仕組みには、データの流れを妨害するような変換回路がない。さらに、8本のワイヤは、情報のための高速道路のような役目を果たしており、1ビットと同じ速度で1バイトを移動させることができる。

設計者が、時間とポート回路で節約した分の代償は、ケーブル費用となる。たとえば、電話が使用する2本のワイヤとコンピュータのシリアル回路の代わりに、パラレルポートなら最低でも8本のワイヤ(1ビットに1本)と接地線と制御信号が必要である。IBMの設計なら25本のワイヤが必要だ。この意味は大きい。これほどの数のワイヤをまとめたケーブルは太くて、ちょっとやそっとでは曲がるものではない。たとえば、壁にそってマシンを置こうとしても、このケーブルのおかげで、壁とマシンとの間に相当のスペースが必要となる。同様に、ワイヤおよび信号の数に合わせてコネクタも大きくなる。また、ワイヤが増えれば、ケーブルとコネクタをつなぐためのはんだ付けにかかる時間も長くなる。

それでもパラレルインターフェイスに換えるということは、太いケーブルの費用は、余分なポート回路の費用に十分見合うからである。プリンタケーブルを製品に付属させず、ユーザー側に購入させているコンピュータメーカーの立場を考えれば、パラレル設計の持つ意味が理解できるだろう。

パラレル接続においては、ケーブルのコストだけが欠点ではない。パラレルポートの〝パラレル〟という性質も、電気的な意味からは大きな問題である。データおよび制御信号は、ケーブルの狭い経路を一緒に移動しなければならない。移動する信号がこれらだけならば問題はなく、実際、そういう場合、パラレルポートは良好に動作する。しかし、複数の信号が一緒に移動すると、その過程で信号同士が相互に反応し合う可能性がでてくる。このように、1本のリード線の信号がほかのリード線の信号に干渉して発生するトラブルを、**クロストーク**(混線)という(電話システムでも、同様の仕組みで混線が発生する)。

ケーブルが長くなると、干渉が発生する可能性も高くなる。このため、ほとんどのメーカーは、パーソナルコンピュータで使用されるようなパラレル接続は、トラブル防止のために10フィート以下にするように推奨している。コンピュータとプリンタの組み合わせによって、パラレルポートのクロストークに対する感度も変わる。システムによっては最大50フィートもの長さでも良好に動作するものもあるし、10フィート以上になると止まってしまうシステムもある。自分のシステムでどのぐらいの長さのケーブルが使えるかは、実際試してみないとわからない。

もし、コンピュータとプリンタを10フィート以上離して、長いケーブルや延長ケーブルを使用してうまく動作していない場合は、短いケーブルに換えてみたほうがいい。パラレルケーブルを短くしておけば、トラブルの防止ができる。パラレルケーブルの許容範囲を超える長さが必要なら、シリアル接続に変えるしかない。

15.2　IBMパラレルポート規格

最初のPCに採用され、現在の規格でもあるパラレルポートを設計するにあたって、IBMは、かつて業界で支配的な立場にあったプリンタメーカー、Centrinicsが設定した制御信号のパターンに従うことに決めた。IBMがこの設計を借り受けて設計を行った当時には、この規格は正式なものになっていなかった。というのも、セントロニクスは、コンピュータプリンタを巧みに制御する制御信号を開発したばかりだったのである。IBMがセントロニクスのこの設計を採用したのに合わせて、ほかのプリンタメーカーもこれを採用していった。

コネクタ

しかし、IBMはパラレルポートコネクタについては独自の道を進むことを選んだ。本当のセントロニクスのプリンタポートが36端子のアンフェノールコネクタを使用しているのに対して、IBMは25ピンDsubコネクタを選んだ。それ以来、プリンタメーカー側が36ピンの設計に固執し、一方のIBMやほかのほとんどすべてのコンピュータメーカーは25ピンの規格を維持している。このため、異なる規格を持つこれらのプリンタとコンピュータを接続するためには、ほとんどの場合特殊なケーブルが必要である。幸いにも、一般に販売されているパーソナルコンピュータは、この特殊なアダプタケーブルを標準の付属品としている。自分専用のアダプタケーブルを作りたい人のために、表15-1にケーブルの接続の一覧を示した。

表15-1　IBMパラレルプリンタケーブル

25ピンコネクタ側	36ピンコネクタ側	25ピンコネクタ側	36ピンコネクタ側
1	1	14	14
2	2	15	32
3	3	16	31
4	4	17	36
5	5	18	19-30、33
6	6	19	19-30、33
7	7	20	19-30、33
8	8	21	19-30、33
9	9	22	19-30、33
10	10	23	19-30、33
11	11	24	19-30、33
12	12	25	19-30、33
13	13		

片方向と双方向

もともとパラレルポートは、プリンタ出力の役目のみを果たすように考え出されたものであったため、データの流れは一方向、つまり、パーソナルコンピュータからプリンタの方向にのみ進み、一部の制御信号だけが逆向きに進むように設計されていた。したがって、初期のパーソナルコンピュータはいずれも、装備しているパラレルポートは片方向のものであり、データを送信はできても受信することはできなかった。

この片道送信という性質はポート本来の電気設計の結果であった。つまり、パラレルポートの設計では、意味を表わすレベルの電流を供給することができないのである。ポートのデータラインの1つを接地してデータを送ろうとすると、ポートの回路が破壊する可能性があるのだ。IBMは、すべての装置でポート出力の向きの変更を禁じることによって(実際にポートへ情報を送ることはできない)、データの受信用としてパラレルポートを使用することができないようにしている。

最初のPCを発表したときに、IBMがこの設計を再考したことは明らかだ。パラレルポートを双方向の通信ができるようにしていたのである。しかしながら、IBMは、PS/2ラインの製品を発表するまでは、双方向送信を正式にはサポートしなかった。

しかし実際には、ごく初期のIBMのパーソナルコンピュータには、パラレルポートのサポートが組み込まれており、これによって様々なデータラインを読むことができた。データラインを直接接地しないように(たとえば、電流を低く保つために、抵抗を介してデータラインを制御することなど)気を付けてさえいれば、最も初期のPCでさえ、パラレルポートを双方向で使用することができるのである。IBMの設計では、システムは2.6mAの供給が認められているため、2.2KΩの抵抗で十分である。PCのパラレルポートは最大24mAまで流す(引き込む)ことができる。

双方向ポートよりも片方向ポートのほうが作るのが簡単で、費用も安いという点以外は、両ポートにおける問題全体は実際の使用には関係ないものである。正しいコンピュータメーカーはすべて、自らの製品に双方向のパラレルポートを搭載しているのに対し、安価なパラレルアダプタやマルチファンクションボードのメーカーは、回路を切り詰める傾向にある。片方向のバッファを持ったパラレルポートを装備することもありうる。

パラレルポートを使ってプリントアウトしか行わないのであれば、ポートは片方向でも双方向でも関係ない。しかし今日では、SCSIアダプタを始めとして、ネットワークアダプタ、データ変換システムなど、パラレルポートに接続する多種多様な装置が出てきている。これらはすべて、パラレル接続の高速性を前提として設計されており、安いパラレルアダプタの片方向ポートでは動作しない。

ポートの割り当て

パーソナルコンピュータの各パラレルポートは、論理的にはシステムのほかの部分と3つのI/Oポートを介して接続されている。これら3つのポートのうち、1つはパラレル接続へデータを移動させるのに使用される。一般には、マイクロプロセッサがプリントアウトされる情報をメモリから検索し、それをパラレルアダプタが使用するI/Oポートへ送る。このデータは単にバッファされ、パラレルコネクタへと送られる。ほかの2つのI/Oポートは制御信号の操作と、プリンタへ出力された信号のモニタと、プリンタの動作状態を示すために使用される。

パーソナルコンピュータの基本的な設計では、それぞれが自分専用の3つのI/Oポートを持つパラレルポートを最高3つまで搭載できる。3つのI/Oポートアドレスの3つの範囲がパラレル用として確保される。これらはそれぞれ03BCh、0378h、0278hのベースアドレスを設定されている。どのシステムでも、これらのI/Oアドレスの3組は個別に1つのパラレルポートへ割り当てられなければならない。2つのパラレルポートで同じベースアドレスを共有することはできない。

これらの中で1番目の03BChは、もともとはIBMのMDA(モノクロディスプレイアダプタ)カードに搭載されていたパラレルポート用として予約されていたものだが、専用のディスプレイアダプタを内蔵していたPS/2ではMDAカードが使用できなかったため、これと同じセットのアドレスが、PS/2に標準搭載されていたパラレルポートに割り当てられたのである。システムボードビデオシステムを持ったほとんどの互換機も、オンボードのパラレルポート用にこのアドレスを使用している。ほかの2つのスタートアドレスは増設用のパラレルポートに使用するのが一般的である。

マザーボードに実装されるビデオのない互換シ

ステムは、MDA ビデオアダプタを搭載する可能性があるため、03BCh ポートの使用を諦める場合が多い。その代わりに、このようなシステムには、一般にジャンパスイッチや DIP スイッチを使って、ポートが使用するアドレスの割り当てを変更するために、通常 0378h のベースアドレスが用意されている。

装置の名称

日々の作業の中で、I/O ベースアドレスを使う必要性はまったくない。パラレルポートを指定する必要がある場合は、その代わりに DOS 用の名称を使用することができる。システムがサポートしている 3 つのパラレルポートには、それぞれ〝LPT1〟、〝LPT2〟、〝LPT3〟という名称があてられている（LPT は Line PrinTer を省略したものと考えればよい）。〝PRN〟という装置名は、LPT1 に相当する。

しかしながら、これらの名称は必ずしも特定の I/O ポートアドレスにマッチしているわけではない。ブート時には、BIOS コードはサポートされている 3 つのベースアドレスのそれぞれでパラレルポートを検索する。検索はつねに 03BCh、0378h、0278h の順で行われる。システムの中に見つかった最初のパラレルポートには LPT1、2 番目のポートには LPT2、3 番目のポートには LPT3 の各名前が割り当てられる。モノクロディスプレイアダプタもしくはパラレルポートを内蔵した PS/2 では、そのポートが常に LPT1 になる。使用できるポートの値は、絶対メモリアドレス 0000：0408 で始まる BIOS のデータエリアに、各ベースアドレス値を格納するために確保されている 1 つの 16 ビットワードと一緒に格納されている。

この割り当て方法によって、どの I/O ポートがパラレルポートにアサインされたかは別にして、少なくとも 1 つが LPT1（PRN）装置として存在することが確認できる。しかし、万一 2 つのポートが同じ I/O ベースアドレスに割り当てられていると、そのシステムは両方のポートに同じ名前を割り当ててしまうため、どちらも同じように動作することになる。

ポートの制限

パラレルポートは多くの製品で組み込まれた形で装備されているため、パーソナルコンピュータのパラレルポートの数が思った以上に多いことがよくある。したがって、余分なポートは追加していないつもりでも、簡単にポートの衝突が起こりうる。実際、このことを知らなければ、ユーザーが IBM で公式に認められているパラレルポートの最大数である 3 つを超えて、ポートを追加してしまう可能性さえある。さもなければ、同じ 1 つのポートと思って 2 つのポートを作ってしまい、システムの混乱とクラッシュという有害な結果に至らせることもあるかもしれない。システムにパラレルポートを追加する前には、すでにインストールされているポートの数とベースアドレスを確認したほうがいいだろう。これらの確認には DEBUG プログラムか、市販の機能レポートプログラムが使用できる。

15.3　パラレルポートの信号と接続

パラレルポートのコネクタの 25 個の端子のうち 19 個は、データの伝送というごく平凡な機能に使用される。**表 15-2** は、標準の IBM パラレルポートコネクタで、各端子のどの機能が割り当てられているかを示したものである。各機能については次の項で述べる。

表 15-2　IBM パラレルケーブルのピンアサイン

25 ピンコネクタ	機能	25 ピンコネクタ	機能
1	ストローブ	14	オートフィード
2	データビット 0	15	エラー
3	データビット 1	16	入力のイニシャライズ
4	データビット 2	17	セレクト入力
5	データビット 3	18	接地
6	データビット 4	19	接地
7	データビット 5	20	接地
8	データビット 6	21	接地
9	データビット 7	22	接地
10	アクノリッジ	23	接地
11	ビジー	24	接地
12	ペーパーエンド	25	接地
13	セレクト		

データライン

プリンタに送られて印字される情報は、まず、1 バイトの ASCII コードの各ビットに 1 本、つまり合計 8 本のデータラインにロードされる。信号は、標準の TTL 電圧になっており、公称 5V のハイレベルで論理 1 を表わし、0V のローレベルで論理 0 を表わす。

ストローブライン

データラインにデータをロードしただけでは、プリンタにキャラクタを打ち出す指示としては十分ではない。データビットは絶えず変化しており、8 本のラインが同時に正しい値を送り出しているという確証が（実際にそうであるとしても）システムにはないため、プリンタは送られきたキャラクタを 1 回印字すればいいのか、それとも続けてもう 1 回印字すべきなのかを知る手立てがないのである。したがって、この場合には、コンピュータがデータラインへデータのロードを完了したということと、キャラクタが印字できるということを示す信号が必要になる。ストローブラインはまさにこの目的で使用されるものである。

IBM のパラレル方式におけるストローブ信号は、負論理である。データビットの用意ができていない間はハイの状態になっており、1 バイトのデータを送信するときにローレベルに下がる。

データ信号とストローブ信号のタイミングは重要である。プリンタ回路が正しい値を認識できるように、すべてのデータラインはストローブ信号がトリガされる前に、正しい値にいなければならない。この場合に必要な時間は約 0.5 マイクロ秒である。これに対し、ストローブ信号は、1 マイクロ秒以上継続しなければならない（たったこれだけでも、プリンタがこの信号の存在を認識するのに十分な時間である）。そしてこれに続いて、データ信号が 0.5 マイクロ秒存在して、プリンタ回路にデータが正しく認識されるのである。また、両者の信号が重なるとエラーが発生する。

ビジーライン

このデータ信号～ストローブ信号～データ信号のプロセスには、1 キャラクタあたり最低 2 μs をさいている。この速度なら、パラレルインターフェイスは 1 秒あたり 500,000 個のキャラクタをプリンタの中へダンプすることができる。一方プリンタには、データが送られてくるのを待たせて、用紙へのキャラクタの打ち出しでビジーの状態にあることをコンピュータ側に知らせる手段が必要である。これが**ビジー**信号で、プリンタからコンピュータへ送らることで任務を完了する。プリン

タは、ストローブ信号を受け取り、キャラクタの打ち出し作業をスタートするとすぐに、ビジー信号をハイレベルに変化させる。

ビジー信号は、プリンタが次のバイトのデータを受け取る体制を整えいる間は、ハイレベルに留まる。ビジー信号のこの状態は、バッファにデータがロードされた瞬間、もしくは、バッファがいっぱいになったり、印字リボンが絡まったり、電源投入後で初期化が完了していない状態のときなど、プリンタが印字する文字を受け付けることができない間、持続する。

アクノリッジライン

ビジーラインが否定的な意味を持つ信号である（〝データを送るな〟という意味を表わす）のに対し、それ以外のパラレルポートの信号は肯定的な意味を持つフロー制御に使用される。**アクノリッジライン**は、プリンタからコンピュータへ送られる信号で、これによりコンピュータは、前のキャラクタが正しく受信されて用紙に打ち出され、プリンタは次のキャラクタを受け取る準備ができていることが分かる。ストローブ信号同様、アクノリッジ信号も通常はハイレベルであり、ローレベルになることによってプリンタの準備ができたことを示す。一般的に、この否定信号は8 μs継続する。

プリンタからのフィードバック

パラレルインターフェイスは、ただ単にデータを移動させるだけではない。プリンタがその動作の様々な局面にあることをホストコンピュータに知らせるために、パラレル回路の専用ラインがプリンタに使用されている。信号は、プリンタの準備ができており、ジョブを行える状態にあることをコンピュータに知らせる。実質的には、これらの信号によって、コンピュータには簡単な遠隔感知機能が与えられたことになる。

セレクト

セレクトラインは、プリンタが選択されていることを示すものである。〝選択されている〟ということは、オンライン状態にあり、情報を受け取る用意ができているということである。セレクトラインは、プリンタのフロントパネルのオンラインランプとまったく同様の働きをするが、目に見える動作ではなく、パラレルポートを通してその働きは示される。

このラインは、プリンタがオンライン状態のときにハイになる。したがって、当然ラインがハイになっていなければ、パラレルポートはデータを送らない。

ペーパーエンプティ

プリントアウトの作業中に最もよく出会うトラブルといえば、用紙切れである。用紙切れになった場合、プリンタはすぐにビジー信号をハイにする。これによってコンピュータはプリンタにデータを送り込むのを中断する。しかし、プリンタは同時にそれ以外の情報も出力する。つまり、何が起こっているのかをユーザーに知らせるのである。

発生した問題の性質をコンピュータに正確に伝えるために、プリンタは**ペーパーエンプティライン**をハイにする。セレクトラインと同様に、このラインもプリンタの用紙切れランプとまったく同じように動作するが、それだけでなく、コンピュータが理解できる形式でその信号を伝達する。

フォルト

フォルト信号は、プリンタのほかのトラブルを一切合財入れる箱のように使われている。この信号によって、正確な内容は分からないにしても、何らかのトラブルがプリンタに発生していることが、コンピュータに伝えられるのである。プリンタで発生しうるすべてのトラブルを示すには、ケーブルのワイヤの数が足らないため、このような方法が採られている。たとえば、プリントヘッドのチェンバーが開いているとか、プリントヘッドが止まったとか、プリントヘッドが何も打ち出さない（たとえばドライブベルトの故障など）など、プリンタが自分で検出できるエラー状態がすべてこのフォルト信号でまかなわれている。

フォルト信号は負論理である。通常はハイに保たれており、エラーが発生するとローになる。多くのプリンタでは、多重の防護策が講じられてい

る。何かが故障した場合は、すべてのフラグが上がり、ビジー、セレクト、フォルトすべてが警告状態になる。

コンピュータの制御

IBMのパラレルポート設計では、ポートに直結された信号を使ってプリンタの様々な状態を制御するために、3つの追加信号が使用されている。これらの信号はプリンタを初期化し、オンライン状態に切り換え、行送りを制御する。

コンピュータとプリンタは互いに完全に独立した装置であり、個別に拡張したり、モデルチェンジできる。つまり、プリンタにおいては、コマンドを送って、新しいフォントを設定したり、文字ピッチを変えるなど、操作が変更でき、一方、コンピュータ側は、自分がプリンタに送るコマンドに絶えず注意するようなことはしないため、たとえプリンタがグラフィックスモードになっていて、47ページもの月次報告書を無定形のしみとして印字するモンスターに変身していても、コンピュータのほうではその違いにまったく気がつかない。

しかし、プリンタはつねに同じ設定でスタートする。つまり、フォント、文字ピッチ、モードはすべて、既定の方法でプリンタに送られているのである。プリンタの電源をいったんオフにしてから再び電源を入れて、重要なオペレーティングパラメータすべてを初期化すれば、プリンタを再びこの状態に設定することができる。**プリンタのイニシャライズ**または**インプットプライム**は同じ結果をもたらす別の手段である。これはプリンタ用のリセットボタンのようなもので、このラインをローにドライブすれば、プリンタは自分自身を初期化してブートアップ操作を実行する。

セレクト入力

プリンタの中には、コンピュータホストによってオンラインとオフラインを切り換えるように設計されているものがある。この切り換えを命令するのに使用される信号を、IBMは**セレクト入力**と呼んでいる。この信号がローのとき、プリンタはデータを受け付け、ハイのときにはデータを受け付けない。多くのプリンタでは、このラインを常時ローに固定するDIPスイッチを使って、ユーザーがこの制御を無効にできるようになっている。

オートフィードXT

プリンタの中には、改行によって、用紙が自動的に次の行の始めの位置に進むものと思っているプリンタもあれば、改行は単に現在印字中の行の始めにプリントヘッドを戻すだけであると思っているプリンタもある。ほとんどのプリンタは、ユーザーがDIPスイッチを使って、プリンタのキャリッジリターンに対する反応の仕方を、このどちらかに設定できるようになっている。

オートフィードXT信号は、コンピュータ側にその選択権を持たせるものである。この信号をローにしていれば、キャリッジリターンを検出したとき、プリンタは自動的に1行進めるように命令される。逆にハイになっているときは、次の行まで用紙を進めるのにラインフィードキャラクタが必要になる。

15.4 パラレルポートの性能

パラレルポートの動作速度は、多くの要素によって左右されている。まず、ケーブル自体によって、使用できる信号の周波数が制限される。ただし、ケーブルが約10フィート以下であれば、パラレルポートのデータスループットにケーブルの及ぼす影響はわずかである。これに代わってパラレルポートの性能を左右するのは、通常のパラレルポートのフロー制御に使用されるストローブ信号とアクノリッジ信号の変化する速度である。システムのタイミングが、これらの信号の最小の長さになる

ように設定されている場合、1つのキャラクタ伝送サイクルは約10 μsである。これは、1秒間に100,000バイト、つまり、800,000bpsという速さである。高性能のモデムが9,600bpsであることを考えれば、これがいかに高速であるかがわかるだろう。

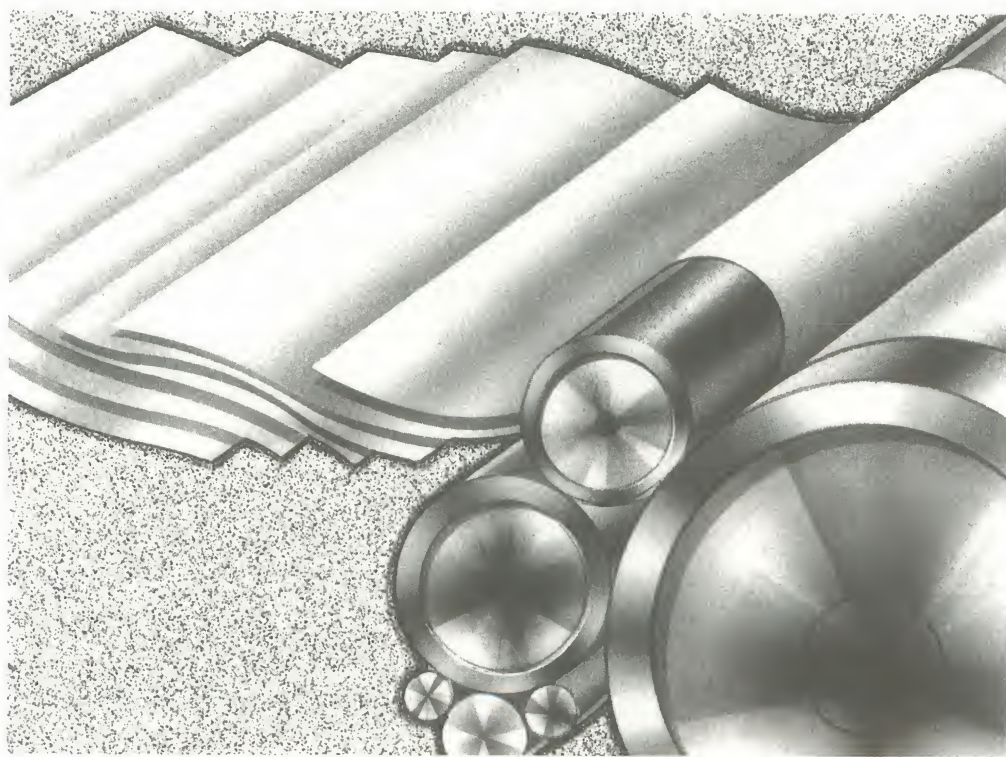
この動作速度がIBM規格に準拠したパラレルポートの最高速度であり、また、実際にはなかなか達成できない速度でもある。転送されるキャラクタはいずれかの場所から持ってきて、どこかほかの場所へ転送しなければならない。接続の両端のオーバーヘッドを考慮すると、通常のパラレルポートの流れの速度が実質的に低下する。たとえば、コンピュータなら、アクノリッジ信号を受け取ったあと、それを理解するためにBIOSルーチンを実行して、それから次のキャラクタをパラレルポートにロードし、最後にストローブ信号をポートに送信しなければならない。プリンタは、専用のバッファが装備されていても、キャラクタを受け取るたびに、この儀式のような作業を行わなければならない。

このように、パラレルポートの速度は、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサの性能によって変わる。マイクロプロセッサが高速になれば、このオーバーヘッドのすべてを処理する速度も速くなる。バッファに直接キャラクタを詰め込んでいく時代遅れのPCやXTの場合、データ速度は最高9,600bpsの速度で動作するシリアルポートと、ほとんど変わらないと考えることができる。一方、最近の486ベースのコンピュータになると、大抵パラレルポートのスループットは最高300,000bpsにもなり、場合によってはそれ以上のこともある。

今日の最高性能のパーソナルコンピュータでも、このマイクロプロセッサのオーバーヘッドが、パラレルポートの論理上の限界により近い性能を獲得しようとする際の壁となっていることに変わりはない。これに対し、バスマスタ技術を使って最高伝送速度に一層近づいているマシンもいくつかある。バスマスタパラレルポートを使用すると、パラレルポートへのデータの伝送は、マイクロプロセッサの介在なしでDMAコントローラで行うことができるようになる。高速なDMAシステムの場合、データのスループットは限界にまで近付くことができる。バスマスタパラレルポートを内蔵した最初のシステムはIBM PS／2のモデル90と95である。

しかしながら、パラレルポートに対するデータのスループットよりも重要なのは、パラレル制御という骨折り仕事からマイクロプロセッサを解放することである。DMAシステムへこの作業の責任を移すことによって、マイクロプロセッサは自身の帯域幅の多くを取り戻すことになる。結果として、システムの全体的な性能が向上し、特にマルチユーザー環境、またはマルチタスク環境でそれが顕著である。

第16章

プリンタとプロッタ

パーソナルコンピュータに取り付ける外部周辺機器の中で最も一般的なものといえば、プリンタである。コンピュータ内部の無形の思考内容を物質世界のハードコピーに変換する基本的な手段としてプリンタがあることを考えれば、これには疑いの余地はないだろう。パーソナルコンピュータの思考内容を紙の上に打ち出すために、プリンタには多岐にわたる技術が用いられている。そして、それらの技術には各々固有の長所と短所がある。

プリンタという用語は、データ処理に関する用語の中では最も広義なもので、その中には、ハンマーや水鉄砲、フラッシュライトといった広範な技術の応用が統合されている。さらに、ほかのどの周辺機器と比べても、性能の範囲がこれ以上に幅広いものはない。たとえば、動作スピードひとつとってみても、眠っているかと思うような遅いものから電光石火の如き高速なものまで、あるいは、関節炎にかかった人が片手を背中に縛りつけてタイプするよりも遅いものから、「スピーディゴンザレス」がアンフェタミン入りのタコスをがつがつ食い終わるよりも速いものまで、実に様々である。さらに、筐体は、重さ1ポンドの持ち運び可能なものから縄で縛られた怪物のように大きなものまで、デザインも、新石器時代の石器のような単純なものから、バットマンの「夢魔」のような複雑怪奇なものまで、といったぐあいである。ドットによる印刷とはいえ、活字の品質が専門の印刷屋に劣らぬものもあり、プロッタが赤面してしまうほど、高速かつ鮮明に図形を描けるものもある。プリントアウトされてから2年経ったものでも、なお鮮明な出力結果を作るものもある。

したがって、プリンタを分類すればその範囲はたいへん広いものとなる。実際に、印字品質、印字スピード、使用されている技術、用途、重さ、色、そのほか数え切れないほどの設計要素（もちろん実用性という点で逸脱しないもの）を基準に、プリンタの分類が可能である。

プリンタ技術について、あらゆる方向からひとつひとつを確定的に論じるのは、果てしのない話である。プリンタ技術は絶えず変化している分野であり、新技術が次から次へと生まれているのに加えて、古い技術も再生され、改良を加えられているからである。旧式の機械にも新たな改良が加えられ、一見時代遅れと思われるようなアイデアも繰り返し使われているのである。

16.1 プリンタのメカニクス

コンピュータプリンタという用語は総称で、実際その中にはいくつもの種類の装置が含まれる。飼い猫を敷き皮の上からどかす方法がたくさんあるのと同様に、用紙にインクをつけるというプリンタの典型的な作業を機構的な側面から見るだけでも、コンピュータの出力を紙の上に表わす方法は1つばかりでないことが分かるだろう。

インパクトプリンタ

プリントするために、機械的な仕組みによって用紙に力を加えるかどうかという点で、プリンタの技術は大きく2つに分かれる。インパクトプリンタといえば、用紙に強い力を加えてプリントアウトを行うものを指す。一方、ノンインパクトプリンタは、用紙を送ったり押さえたりする際に多少の力を加えることはあっても(場合によっては紙に電気を加えることもあるが)、プリントのために、何かを強く打ち付けるようなことはけっしてしない。ノンインパクトプリント技術の場合は、レーザー光線から、用紙上に顔料を焼き付ける小型トースタのような発熱体や、用紙にインクを吹きつけるインクバブルに至るまで、様々な技術を用いてプリントを行っている。ノンインパクトプリンタに共通な特徴はただ1つ、イメージを紙の上に残す過程で、強制的な力を一切用紙に加えないということである。

■ 起源はタイプライタ

プリンタの中で低価格商品として最も普及しているのは、インパクト技術をベースにしたプリンタである。インパクトプリンタはすべて、元々はオフィス用のタイプライタから生まれたものであり、タイプライタを知ることがインパクトプリンタを理解する早道となるだろう。

旧式のタイプライタは、自分で分解して組み立て直したことのある人なら分かるように、機構的には複雑だが、その動作原理はきわめてシンプルである。カム、レバー、キーをすべて取り外してみれば、タイプライタの本質部分はハンマーであることが分かる。

ひとつひとつのハンマーがインクリボンにぶつかると、インクリボンは用紙に押しつけられ、そのときのハンマーのインパクトにより、用紙にインクが付着する。紙の繊維に吸収されたインクは、リボンにぶつかったハンマー部分に形成されているマークなりイメージ(アルファベットなど)を、目に見える形で紙の上に残す。これがタイプライタの仕組みである。

インパクトプリンタはいずれの場合も、この基本的なタイプライタの原理をベースにしている。Christopher Sholeの最初の「プラテンペッカ」のように、すべてのインパクトプリンタはハンマーの役目をする部分をリボンにぶつけて、リボンから用紙上にインクを押し出すという仕組みを持っている。つまり、力によって用紙に印を表わしているのである。実際、インパクトプリンタとタイプライタに何らかの違いがあるとすれば、それはタイプする人の指が用紙上の印字に直接連動しているかどうかという点である。つまり、タイプライタの場合には、印刷を行う機構に指から直接力を加えて動かす一方、プリンタの場合は、プリントアウトしようという意志と印字された文字の間にパーソナルコンピュータが介在するのである。

パーソナルコンピュータの初期、すなわち、PCが成功を収めることによって個人用プリンタの市場が形成されるということを、タイプライターメーカーがまだはっきりとつかんでいなかった時期に、数多くの会社が、コンピュータの出力装置としてタイプライタの改造と取り組んでいた。「Bytewriter」はその成果の代表的なもので、タイプライタのキーボードをフル装備したコンピュータプリンタである。しかし、スピードはたどたどしいもので、人の指の運動速度に比べれば2倍の仕事が可能だったが、残念ながらコンピュータの出力と比較するとまったく相手にならなかった。

市場では短命に終わってしまったが、キーボー

ド上に箱型の装置を取り付けるだけで、タイプライタをプリンタに変えられるという触れ込みの商品まで出てきたことがあった。その装置には何十個ものソレノイドや、そのほかの機械部品がぎっしりと埋めこまれており、これに比べればスペースシャトルでさえも単純に見えるほどであった。ソレノイドは電気で制御される“指”の働きをするもので、ホストコンピュータからの命令によってキーを押し下げる。確かに面白そうな仕組みではあるが、これは一歩間違えばただの物笑いの種になってしまうような装置だった。1981年にはかなり宣伝されていたが、このような装置が実際に売れたかどうかについては、少なからず疑問がある。

現在最も一般的な低価格プリンタといえば、**インパクトドットマトリックスプリンタ**である。通常は略して**ドットマトリックスプリンタ**といわれている。文字の作成方法については旧式のタイプライタとは異なるが、ドットマトリックスプリンタも、ハンマーとリボンを使ってインパクトプリントを行うという、タイプライタと同じ原理に基づいたものである。

■インパクトプリントの長所

タイプライタと同様に、インパクトプリンタには長所が数多く備わっている。125年間に及ぶ技術革新の恩恵を受けて、インパクトプリンタには完成された技術が用いられており、設計および機能は比較的シンプルで、理解しやすく、馴染みやすいものである。

ほとんどのインパクトプリンタは、インクと相性のよいものであれば、家のあちらこちらで使われているような様々な種類の紙はもちろんのこと、玉葱の皮から薄いカードストックに至るまで、どのような媒体にでもプリントアウトが可能である。インパクト、ノンインパクトのいずれの技術でも、高品質かつ高速な出力が実現されているが、最もビジネスニーズのある作業の1つである、複写書類の作成をやらせると、インパクト技術の方がリードしている。インパクトプリンタの場合、リボンと紙の間に何枚もの紙を挟んでプリントを行うことができるため、紙の間にカーボンを挟んだり、ノンカーボン複写用紙を使えば、プリンタを一回作動させるだけで、まったく同一のコピーを一度に複数枚作ることができる。たとえば、納品伝票などの用途では、正確なカーボンコピーは必需品であり、その場合にインパクトプリントは必要欠くべからざるものである。

インパクトプリントの欠点

インパクトプリンタには、タイプライタから生まれたことを示す特徴が、ほかの面にも表れている。1つは、ハンマーがリボンと用紙にぶつかったときに騒音を発することである。この騒音は、振幅が大きく、高周波の断続的な鋭い衝撃音で、歯医者にある装置の音、あるいは、腹をすかせて怒り狂っている大きな蚊の群れが立てるような音といったらよいだろうか。いずれにしても、たいへん気に障る音である。一般的に、インパクトプリンタが立てる騒音は、普通の会話で使用される音よりも大きく、口論を聞いているよりも不快である。動作スピードが増せば増すほど、騒音の大きさも高さも増していく。

プリンタメーカーの中には、この騒々しい筆記者たちを静める、つまり騒音を抑えるという素晴らしい成果をあげたところもある。毎秒780文字の印字速度のプリンタの中には、55dB、すなわち、パーソナルコンピュータの静かなファンとほぼ同レベルにまで音量を下げた機種も出てきている。しかし、それでも低価格のインパクトプリンタ(プリンタの中で最も売れている)がぎしぎしと音を立てて仕事をしていると、その部屋から飛び出したい気になるものである。

ノンインパクトの設計

インパクト技術の正反対にあるのがノンインパクトプリントである。新技術を応用したり、すでに存在する技術を想像力を大いに働かせて利用しながら、タイプライタのようなハンマーによるインパクトを使用せずに、用紙上にイメージをプリントアウトする方法がこれまでに数多く開発されてきた。ノンインパクト技術の代表的なものとしては、インクジェット、熱転写、レーザー、ワックス転写、ダイディフュージョンがある。

16.2 イメージの作成法

インパクト、**ノンインパクト**という用語は、用紙上に何らかのマークを表わすための魔法の種類を表した言葉である。しかし、用紙にマークをつける方法は、マークがどういうものであり、どのような形をしているかということとは無関係である。たしかにイメージの質は様々な印刷技術の影響を受けるが、印刷技術以外にもイメージの質に関して大きく影響する重要な要素がある。そのひとつがプリンタに用いられる文字の作成法である。

活字型キャラクタプリンタ

プリンタの元となったタイプライタや、1970年代に製造された類似の機械はすべて、文字の作成についてはグーテンベルクの最初の印刷機と同じ原理に基づいていた。印刷に用いた文字は、それぞれ裏返しの形になってはいるが、最初からその文字の完全な形を持っていた。つまり、印刷される前に、各文字はそれぞれの完全な形を成しており、最も肉太の字体から最も細いセリフまで、各文字の全部分がタイプライタのハンマーの1回の打ち付けによって印刷されたのである。ハンマー(あるいは印刷機の活字)は、作り出そうとしている文字の鋳型に似た役割を果たしているわけだ。

パーソナルコンピュータが使われ始めた初期には、数多くのプリンタがこのタイプライタの技術を使用しており、**活字型キャラクタプリンタ**(Fully formed character printer)という用語のもとに、一括して分類されていた。この技術をベースにしたプリンタには、**レタークオリティプリンタ**、**デイジーホイールプリンタ**、**シンブルプリンタ**と呼ばれるものがある。

活字型キャラクタプリンタは、ほとんどすべてが、インパクト原理を用いて用紙にインクを付着させている。しかし、1文字ごとにハンマーがあるのではなく、1つの機械部品に全文字をまとめて配置し、その部品を1本のハンマーとリボンの間に置いて印字を行うという仕組みだった。プリンタとコンピュータの電子回路によって制御されるソレノイドが動かすハンマーが、文字が配置された部品(印字部)にインパクトを与えると、印字部によってリボンから用紙上へとインクが打ち出される。1個のハンマーの打ち付けで英数字を印刷するために、印字部の方が方向を変えたり、回転したりして、必要な文字をハンマーの正面に持ってくるようになっている。

ほとんどの場合、文字は回転盤のスポークの先端近くに配置されている。その形が花(ひなぎく=デイジー)に似ていることから、この装置は**デイジーホイール**という名前が付けられている。また、デイジーを水平に置き、その花びらを上に曲げた形のものが、**シンブル**(**チューリップホイール**とも呼ばれる)である。

活字型キャラクタ技術を使えば、高級なタイプライタと変わらない高品質の出力が可能である。実際、その印字品質に限界をもたらしている主な要因は、印刷技術ではなく、使用するリボンである。これについては、マイラー(ポリエステル)フィルムリボンを使うと、フォトタイプセッタにほぼ匹敵するほどの品質が得られるデイジーホイールプリンタも出てきている。

デイジーホイールプリンタは今でも使えるが、パーソナルコンピュータから見ると時代遅れとなっている。設計の点からして、テキスト印字と粗末なグラフィックスのみに限定されているうえ、活字型キャラクタプリンタの場合は、字体の種類も限られてしまうからである。印字できるのは、イメージを作成するデイジーホイールもしくはシンブルにある字体(およびフォントサイズ)のみである。また、これらの機種はスピードが遅く、安いプリンタでは1秒に12〜20文字という印字速度で、最も値段のはる機種でも1秒に90文字というレベルにどうにか達している程度である。ほかの技術(特にレーザープリンタ)は、今や活字型キャラクタプリンタと同等ないしはそれを上回る品質を達成し、しかもスピードは圧倒的に速く、価格面でもハンデはほとんどなくなっている。

ビットイメージプリンタ

各文字を印字前に完全な形で用意しておく代わりに、印字の都度新しく文字を形成するという方法もある。この場合、ビデオ画面に文字を表示するのと同様に、用紙上の印字文字の構成要素となるのは〝ドット〞である。一定の数のドットがあれば、これを配列して印刷したい文字に似たパターンを形成することができる。一般に、ドットから文字を作成するプリンタでは、文字の作成作業が簡単になるように、クロスワードパズルの碁盤目に似た直線のマトリックス状にドットを配列している。このような方法を用いたプリンタは、マトリックス内にあるドットから文字を作成するということから、**ドットマトリックスプリンタ**と呼ばれている。しかし、大抵の人は、ドットマトリックスという用語を「インパクトドットマトリックスプリンタ」の意味に限定して使っているので、このような方式のプリンタは、**ビットイメージプリンタ**と呼んだほうが明確に区別できるだろう。

ビットイメージ技術

今人気のノンインパクトプリンタは、すべてビットイメージ技術を使っており、インパクトプリンタでも現在生き残っている機種は、ほとんどこの技術を採用している。この技術が用いられる理由は、その柔軟性にある。ビットイメージプリンタは、テキスト、グラフィックスともに、事実上どのような品質レベルにでも作成することができる。個々の文字を構成するドットパターンはコンピュータ制御されているため、コンピュータ（またはプリンタ内蔵の同等の制御回路）により、イメージの変更、修正が可能で、その際、プリンタ側に何ら機械的な変更を行う必要がない。

デイジーホイールを使った活字型キャラクタプリンタは、印字部（デイジーホイール）を取り替えるだけで、字体をローマン体からイタリック体へ、活字サイズをパイカからエリートへと変えることができる。しかし、ドットマトリックスプリンタは、さらにこの切り換えが簡単で、字体の種類ももっと豊富である。コンピュータからコマンドをプリンタに送るだけで、途中で字体を変えたり、各文字の高さを倍にしたり、幅を半分に縮めたり、適切なスペース配分をしたスクリプトに切り換えたりすることも可能である。また、その同じドットから、チャート、グラフ、図、ハーフトーンの写真のシミュレーションまで作成することもできる。ビットイメージ技術を使えば、1台のプリンタで、事実上どんなイメージでも用紙にプリントアウトできるのである。

ビットイメージプリンタの出力の品質とスピードは、採用されている技術によって大きく異なる。一番下のクラスでは印字品質はさほど良くないが、最上位クラスのものになると、たとえば高級なレーザープリンタなどは、書籍と変わらない品質の出力が可能である。また、速度は1分1ページ以下のものから、1分に何十ページものプリントアウトが可能なものまで様々である。以下の節では、ビットイメージプリンタ技術の中で最も重要なものを取り上げ、それぞれがどのように動作しているかを説明する。

■ インパクトドットマトリックスプリンタ

ビットイメージプリンタの中で原型となるプリンタは、インパクトドットマトリックスプリンタである。このプリンタは、用紙上を左右に往復する**プリントヘッド**を使用しており、そのプリントヘッドにあるたくさんの細い**プリントワイヤ**が、リボンから用紙にインクを打ち出すハンマーの役割を果たしている。

ほとんどのドットマトリックスプリンタは、一見複雑そうだが、実際には効率のよい機構によって、プリントワイヤの1本1本が制御されている。通常は強力な永久磁石の磁力を使って、リボンと用紙の方向に引っ張るスプリングの力に反して、プリントワイヤを一定の位置に固定している。磁石には、電磁石の働きをするワイヤコイルが磁石と逆の極性になるように巻かれており、この電磁石に（もちろん、コンピュータ制御により）電気を流すと、その磁場が永久磁石の磁場を中和する。すると、プリントワイヤを後ろへ引っ張っていた永久磁石の力がなくなり、スプリングの力によってプリントワイヤがリボンに向かって飛び出し、リボンのインクを用紙上へ打ち出すという仕組みである。プリントワイヤによってドットが打ち出

されたあとは、電磁石の電気が切れ、永久磁石がプリントワイヤをアイドルポジションへと引き戻し、再び発射可能な状態になる。

このように、磁石2個とスプリングを組み合せた方法を採用するのには、1つの大きな意味がある。プリンタおよびプリントヘッドに電気が供給されていないときは、用紙からプリントワイヤを(安全な位置に)離しておくことができるということである。複雑な仕組みにはそれなりの理由があり、この場合は、デリケートなプリントワイヤを保護することである。

ドットマトリックスプリンタのプリントヘッドは、このように何本ものプリントワイヤで構成されている。第一世代のパーソナルコンピュータ用のプリンタではほとんど、また、現在の機種でもその一部は、縦1列に並んだ9本のワイヤを使用している。さらに、新しいドットインパクトプリンタでは、高品質な印字を作り出すために、使用するワイヤの数を多くしたものが増えている。そのようなプリンタの中で代表的なものは、18本または24本のワイヤを使用している。多くの場合、それらのワイヤは、並行に2列に配置したものを少しずらして、1本1本のワイヤが互い違いになるように配置されている。またそれとは別の配列方法を採用している機種もある。

文字を1行印刷するときは、用紙上でプリントヘッドを水平に移動させながら、各ワイヤを必要に応じて打ち出して個々の文字を作成していく。このために、各ワイヤがマトリックス内の正確な位置に打ち出されるように、そのインパクトは正確に時間制御されている。プリントヘッドが用紙の端から端まで移動する間、ワイヤは忙しく打ち出され、プリントヘッドは一時も休むことはない。

ドットマトリックスプリンタの印字速度を決定する大きな要素は、1本のワイヤを連続して打ち出すのに要する時間である。運動には物理的な法則があり、各ワイヤをいったん用紙にぶつけて再び元に戻すという動作では、加速できる度合に限界がある。このため、1本1本のプリントワイヤを元に戻し、また動かすという動作に必要な時間が、プリントヘッドが横に移動する速度に物理的な制限を与えているのである。プリントヘッドは、プリントワイヤが再び打ち出し可能な状態にならないうちに、次のドットを打ち出す位置を飛び越えて先へ進むことはできない。プリントヘッドの移動が早すぎると、ドットの位置決めも、文字の形もでたらめなものになってしまうのである。

インパクトドットマトリックスプリンタの中には、動作スピードを上げるために、左から右へ向かって1行を印字すると、次の行は逆に右から左へと印字する、**双方向印字方式**を採用しているものがある。この方式を使えば、通常、次の行の印字を開始するために、キャリッジをいちいち左端に戻さなければならない無駄な時間を節約することができる。ただしこの場合は、テキストを逆に印字していくために、1行分を完全に記憶できるだけのメモリがプリンタに装備されていなければならない。

■ インクジェットプリンタ

インクジェットという用語から、米国海軍潜水艦第1号ノーティラス号とか、巨大なイカ、あるいはふわふわ浮いた飛行機雲の代わりに青い気体を吹き出しているB−52といったイメージが思い浮かんでくれば、あなたの精神状態はまったく正常である。インクジェットプリンタは、燃料の入った小型ジェットエンジンのようにインクを噴射する〝電子イカ〟である。インクの小滴を用紙に吹きつけるプリンタというと、本当にそんな技術があるのだろうかと思われるかもしれないが、これはりっぱに動作し、ほかの出力技術と比べてもまったくひけをとらない鮮明度のイメージを印刷できる。

本質的には、インクジェットプリンタはハンマーインパクトを取り去ったドットマトリックスプリンタといえる。ハンマーがインクを用紙上に打ち付ける代わりに、インクジェットでは、インパクトドットマトリックスプリンタのプリントワイヤに相当する小さなノズルが、適切な位置にインクを吹き付けるのである。動力は電磁石の場合もあるが、現在では、これよりも多く使用されていると思われるのが**ピエゾ圧電素子**(両端に電流を流すと曲がる薄い結晶)である。細かい電子のデジタルパルスによってこの素子がピクッと曲がり、ノズルからインクを用紙に吹き飛ばすのである。

印刷イメージを汚すリボンがないということが、インクジェット成功の秘密の1つである。印字品質については、これよりも価格の高いレーザープリンタと同等である。また、インクジェットプリンタではレーザーを使わないため、製品原価が安く、したがって値段も安い。低価格のインクジェットは、ローエンドのドットマトリックスプリンタに匹敵するほどである。

しかし、きわめて高速な光学の原理に基づくレーザープリンタとは異なり、インクジェットの場合はプリントヘッドが機械的に用紙を走査するため、レーザープリンタと比べると、高品質でプリントアウトを行うにはどうしてもスピードが遅くなる。また、インクジェットプリンタは液体のインクを使用しているため、定期的な保守が必要である。正しく手入れがされていないと、ノズル内でインクが乾き、ノズルが詰まってしまう。

こうした問題を防ぐために、ほとんどのインクジェットプリンタには、使用するたびに自動的にノズルを掃除する機能が付いている。現在では、使用していないときにインクが空気に触れないように、自動的にノズルに栓がされる機構が使用されている。インクを吹き出す機構とインクを供給する機構とを1つのモジュールに合体して、簡単に取り替えられるようにしているメーカーもある。いずれにしても、きちんとインクジェットを掃除をせずに取り付けたままにしておくと、数ヶ月経った後でもう一度使おうとしても、正しく動作しないだろう。

インクジェットはノンインパクトプリンタであり、普通のドットマトリックスプリンタより格段に静かである。聞こえる音といえば、キャリッジが左右に走っている音が多分唯一のものだろう。しかし一方で、最高の印字品質を出すために、インクジェットには決まった吸収性を持つ特殊な用紙が必要である。これは、ページ当たりの印刷代が高くなるということである。安い用紙で済まそうとすると、その手の用紙は多孔質なため、インクがにじんで汚れてしまう。逆に紙がつやつやしていると、よく乾いていないインクが流れて、やはり汚れてしまう場合がある。

しかし、インクジェットプリンタの液体インクは、カラー印刷の場合は有効な長所となる。用紙上に吹きつけられた後でもしばらくインクは液体状態で残っているため、色を混ぜることができるからである。これによって、カラーのインクジェットプリンタでは、原色を混ぜ合わせた中間的な色合いを作り出すことが可能となっている。インクジェットプリンタは現在のところ、インクの流れを精密に制御して、本物の色彩パレットを創り出せるだけの能力はないが、熱転写プリンタを使ってまで出力しようとは思わなくなるだけの高品質な印字結果は十分得られる。高品質のカラーということでは、インクジェットほどコスト効果の高いものはない。

新しく開発されたインクジェット技術に**固体インクジェットプリンタ**または**フェーズチェンジプリンタ**（昇華型プリンタ）と呼ばれるものがある。昔のインクジェットプリンタでは、溶剤で揮発性にしたインクを用紙に吹きつけ、そのインクを蒸発作用または吸収作用により凝固させていたが、フェーズチェンジプリンタでは、適当な色を付けたワックスを溶かし、用紙に吹き飛ばして、用紙上でワックスを固めている。フェーズチェンジプリンタも、インクの小滴を吹きつけている点はほかのインクジェットと同様である。熱い小滴を用紙にぶつけると、すぐに冷却し、相（フェーズ）が液体から固体に変化する（この技術の名称はここに由来している）。最初のフェーズチェンジプリンタであるHowtek「Pixelmaster」の技術はここまで止まりで、プラスチックベースのインクは小さなかたまりとなって用紙に残ってしまったり、プリントヘッドを詰まらせたりしていた。Textronixはこの原型に**コールドフューザ**を付け加えることで改良を施した。コールドフューザはスチールのローラーで、プリンタから印字された用紙を送り出す過程で、インクの小滴を平たく、あるいはそれに近い状態に押しつぶすものである。また、フューザをうまく働かせるために、同社はプラスチック化合物から作っていたインクを、クレヨンに似た脂肪質のワックスをベースにしたものへ変えた。フェーズチェンジプリンタ用のインクは用紙の中へ吸収されないので、従来のインクジェットインクよりも彩度がよく、その上、プリントヘッドの詰

まりは、熱を加えるだけで取り除くことができる。

■ サーマルプリンタ

焼き印セットと同じ原理で動作するようなプリンタは、働きづめのビジネスマンよりもむしろボーイスカウトにぴったりではないかと思われるが、持ち運びの簡単な現在のプリンタでは、まさに焼き印と同様のこと、つまり、用紙にイメージを〝焼き付ける〟ということが行われている。**サーマルプリンタ**（**感熱式プリンタ**）は、焼き印と同じ電気的加熱の方法、つまり、電流が流れると熱くなる抵抗を利用している。ただし、サーマルプリンタの場合は、加熱される抵抗の部分がごく小さく、また1秒の何分の1という短い時間で急速に加熱し、冷却する。インクジェットプリンタと同様に、サーマルプリンタのプリントヘッドも、ドットマトリックスプリンタのプリントヘッドのサーマル版といったもので、用紙にワイヤをぶつける代わりに用紙を加熱するだけのことである。

ただし、サーマルプリンタは、印刷する用紙を実際に焼き焦がすわけではない。用紙を燃焼直前の高温にまで加熱すれば危険である（これはプリンタにライターの役目までさせることになる）。サーマルプリンタでは、焼けるような高温で用紙を加熱する代わりに、さほど高くない温度で白から暗色に変色する特殊な感熱紙を使う。

サーマル技術は可動部品をほとんど必要としないので、ポータブルプリンタには理想的である。動くのはプリントヘッドだけで、内部にはまったくない。動かなくなったり引っ掛かったりするスプリングやワイヤがまったくないのである。その上、小さな抵抗は加熱するのにほとんど電力が要らず、必要な電力は、インパクトプリンタの1本のワイヤを打ち出すのに必要な量より少ない。サーマルプリンタは軽く、静かで、しかも信頼性が高く、電池で駆動させることも可能で、ポータブルプリンタとしては理想的なものである。

これに対して、欠点の1つは、特殊な用紙が必要なことである。印刷に要する費用が高くなるだけでなく、用紙の感触も悪く、不注意に高温にさらすと変色してしまう危険もある。感熱用紙には熱いプリントヘッドと日なたの居心地のよい場所との区別がつかないのである。

サーマルプリンタは徐々に特定用途に限定して使用されるようになっている。というのは、サーマルプリンタと同等の長所を持つインクジェットプリンタの方が、用紙が手ごろな価格ということもあって、低価格のものがサーマルプリンタの領域に侵入してきているからである。

■ レーザープリンタ

世界中のオフィスと森林を様変わりさせた1つの革命といえば、複写機の誕生である。複写機の普及によって、2通、3通の、いや100万通にも及ぶコピーを作成する原料として樹木が何百万という単位で減少している。今日の**ノンインパクトビットイメージレーザープリンタ**はこの技術から生まれた。

基本原理は簡単である。ある種の物質は光に奇妙な反応を示すが、セレンやある種の複合有機化合物はそうした物質の電気伝導率を変化させる。複写機とレーザープリンタにはこの原理が利用されている。つまり、静電荷を与えた感光ドラムに光でイメージを結ぶ。電荷は光が当たった感光ドラムの導電区域から徐々に流れ出し、光が当たらない暗い区域では残存する。その後で、トナーと呼ばれる顔料をドラム全面に塗ると、顔料は帯電した区域に付着する。そして、ローラーがドラムに用紙を差し込むと、付着していた顔料が用紙に転写される。最後に顔料に加熱、つまり〝熱で溶かす〟という処理を加えて、顔料を用紙に定着させる。

レーザープリンタの巧みな点は、ドラムを走査するために、あたかも魔法の力によるかの如くレーザー光線を作り出している点である（魔法というのは、大抵のプリンタでは走査をするのに回転鏡を使用しているからである）。ドラムが1回転するごとに自動的に次の行へと進み、走査が行われる。レーザー光線は変調され、明るい箇所では点灯、暗い箇所では消灯を素早く繰り返して、この動作1回で1個の小さなドットを作り、ビットイメージを形成する。これに似た光学式プリンタでは、LCDシャッタ技術を使用しているが、これは、光線を変調するのに、1つの電子シャッタ（または電

子シャッタのセット）を、つねに光を発している光源（レーザーである必要はない）とドラムとの間に置いたものである。LEDプリンタは発光ダイオード（LED）を調節して光源としている。これらの様々な技術はとても新奇なものに聞こえるが、プリンタを購入する際にはイメージ処理の仕組みはあまり問題にならない。それは、現在では、レーザープリンタ、レーザーもどきのプリンタいずれの技術でも、300dpi以上の解像度が実現されており、印刷品質の違いはルーペがなければ見分けられない程のものだからである。レーザープリンタやこれに類するLCDシャッタプリンタの性能を左右するのは、紙処理とデータ処理である。

カラー印字に関する限り、現在入手可能な価格のレーザープリンタはまだ発達初期のもので、黒であればどのような色合いでも出せるという程度のものしか選択肢はない。プリンタ自身が単色印字用に設計されているため、様々な色のトナーを使用すれば、白黒以外の色も、単色ならば印刷することは可能である（ただし入手できる色はきわめて限られている）。

■ サーマルワックス転写プリンタ

色の種類が豊富で、純粋な上にむらがなく、しかも鮮明なカラー印刷技術として現在最も進んでいるのは、**サーマルワックス転写**と呼ばれるものである。現在のサーマルワックスプリンタの解像度は、レーザープリンタの現行の標準である300dpiと同水準で、その色彩は、カラー映画『バッグスバニー』のベスト集にも匹敵する。

このプリンタでは、ワックスを基剤とした媒質が付着している幅の広いプラスチックフィルム（インク転写シート）を使用する。媒質は4原色分ある。熱転写プリントヘッドにより、ヘッドと同じ密度でこのシートからインクが用紙一面に転写される。1インチ当たり300個の熱転写エレメントがフィルムを加熱することにより、インクを溶かし、再び凝固させてインクを用紙にしっかりと定着させるわけである。転写シートを変えれば、同じプリンタでモノクロ印刷もカラー印刷もできる。

ほかの技術と比べると、サーマルワックスプリンタは速度が遅く、無駄も多い。このプリンタの速度が遅いのは、1行印刷が終わっても、次の行へ300分の1インチ進む前に、熱転写プリントヘッドを冷却させるための時間をどうしても必要とするためである。無駄が多いのは、1枚の用紙大の転写シートを、1ページに必要な原色分使用するからである。つまり、1ページにつき必ず4枚近くの転写シートを使用することになるのだ。このため、フルカラーのページを印刷すれば高価にならざるをえず、一般に1ページの単価はセント単位ではなくドル単位の金額になってしまう。

サーマルワックスプリンタは大量消費市場の商品ではなく、各メーカーは機構部分と補充品の両方に独自の設計を採用しているため、ほとんどの場合、インクシートの入手先はただ1つ、プリンタの製造元だけに限られてしまう。これは品質の点ではプラスだが（プリンタメーカーはそれぞれ自社のインクのカラーとその鮮明度を競い合うため）、競合品が直接対決する市場に比べて、価格が安くならないというマイナス面もある。

サーマルワックスプリンタでカラー印刷をする場合、3色と4色の2種類の転写シートのいずれかを選べる機種がある。3色転写シートには1枚のシートに3原色、すなわち、赤、黄、青のインクが付いており、4色シートはこれに黒が加わる。黒は3原色を重ね塗りしても作れるが、独立した黒インクを使用すればより豊かで深みのある色合いが出せる。その代わり、費用が高くつき、印刷時間も3色印刷時の3分の1だけ長くなる。

サーマルワックスプリンタでは、3原色で7種類〜約1,700万種類の色が作り出せると言われている。この手品の秘密は、透明なインクと「ディザ法」と創意工夫である。サーマルワックスプリンタの使用するインクは透過性があるので、実際にインクを混ぜ合わせなくても、それらを重ね塗りすることで簡単に等和色（2原色を同等に混ぜた色）を作り出せる。

サーマルワックスで表現できる色の種類（パレット）をさらに増やすには、点描画法的な混合、つまり、異なる色のドットを隣合わせに置いて、見た目にはそれらがぼやけて混じり合った色に見せる技法が必要である。1つのインクのドットが1つの画素を構成する代わりに、複数のインクドット

のかたまりが、中間色の超画素（スーパピクセル）を効果的に形成しているのである。

このパレットの豊富さの代償は、解像度が損なわれることである。たとえば、5×5 ドットの大きさのスーパピクセルは、熱転写式ドットプリンタの解像度を1インチあたり60ドットにまで減少させてしまう。イメージの質は本物の写真というよりはカラーのハーフトーン、つまり、雑誌に載っている複製写真のようなものになってしまう。このように品質は完全とはいえないが、それでもフィルムレコーダに記録しようとする画像や、出力サービスで色分解出力しようとしている画像の試し刷りには十分な品質であることは確かだ。

■ ダイディフュージョンプリンタ

写真レベルのプリンタ出力として、現在最も素晴らしい品質を実現できるのが、熱転写式**染料拡散**（ダイディフュージョン）処理技術である。サーマルワックスの処理方法に似たメカニズムを用いて、インクではなく染料を染み込ませるのがダイディフュージョンプリンタである。これは、サーマルワックスプリンタの場合のようにドットのあるなしではなく、拡散によって各ドットの色の濃さを変化させる。染料の拡散は，プリントヘッドによって慎重にコントロールすることができる。3原色はそれぞれ莫大な階調を持つことができる（ほとんどのメーカーによれば256階調）という点で、ダイディフュージョンプリンタのパレットは基本的には無限である。

いくつかのプリンタでは印字サイズに限界があるが、ほとんどのダイディフュージョンプリンタの場合は、出力されたものは、サイズも色彩も写真と変わらない。しかし、このプリンタの限界はコストにある。次々と新奇な技術が開発されてこのプリンタへ導入された結果、価格は成層圏まで押し上げられ、今や1万ドルの壁を打ち破らんばかりになっている。

ビットイメージの品質

ビットイメージプリンタの印字品質は、主に3つの要素により決定される。すなわち、マトリックス内のドット数、プリンタのアドレス可能度、それにドットのサイズである。マトリックスの密度が高ければ高いほど（一定の領域にドットが多くあればあるほど）、文字はそれだけきれいに見える。アドレス可能度が高ければ、それだけ高い精度でプリンタはドットを用紙に印刷できる。そして、ドットが小さくなれば、それだけ微小な細部を表現するのが可能となるのである。

品質に重点を置くと、双方向プリンタでも、単方向印字と変わらない速度にまで減速してしまう場合が多くある。双方向プリンタは、ドット密度を上げるために、往復移動の際に紙をドット幅の半分だけ縦方向に送り、各ラインを2回以上繰り返して印字して、ドット間のスペースを埋めているからだ。単方向印字の方が、1回の移動で高い精度で各ドットを配置できる。

7×5 ドットのマトリックスは、識別できる程度の形のアルファベットの大文字、小文字をどうにか表現できるといったレベルである。このドット数では、ドットのサイズも大きく、ドット同士に隙間が見えてしまう。さらに悪いことには、マトリックスが小さすぎて、下にさがる形の文字（g、j、q、y）を活字のベースラインよりも下にさげることができないため、押しつぶされたような形でしか表わすことができない。市販されているほとんどのドットマトリックスプリンタが使用している最小のマトリックスは9×9ドットで、これで作られた文字は読む場合には問題ないが、いささか野暮ったい感じがする。これよりも新しい18ピンや、24ピンのインパクトドットマトリックスプリンタでは、12×24から24×24ドットのマトリックスで文字を作ることができる。

ほかのビットイメージ技術はさらに先を進んでいる。レーザープリンタは小さなドットで1インチあたり300個という高密度を実現している。1つの文字が30×50のマトリックスで構成されていることもある。新世代のインクジェットプリンタやインパクトドットマトリックスプリンタもこの品質レベルに近づいている。

コンピュータのディスプレイと同様に、ドットマトリックスプリンタの解像度と**アドレス可能度**とはよく混同される。一般に解像度といった場合は、アドレス可能度を意味している。1／120イン

チといった精度でプリンタが用紙上のいかなる位置にでもアドレス指定することができれば、アドレス可能度を意味するものとして解像度は120dpiであるといえる。しかし、その場合でも、プリントワイヤの直径が1/120インチより大きければ、1/120インチレベルの細部を表現することは不可能なのである。

幅の広いプリントワイヤが作る大きなドットは細部をぼかしてしまう。品質の良いインパクトドットマトリックスプリンタは、1本のプリントワイヤが小さく、ワイヤ数も多い。また、ワイヤと用紙との間に挿入されているリボンも、インパクトドットマトリックスプリンタの打ち出したドットをぼやけさせる一因になっている。ノンインパクトビットイメージプリンタの場合は、その解像度と同じサイズのドットを使用しており、通常は約1/300インチである。

レーザープリンタの解像度の問題

入手可能な価格のパーソナルコンピュータプリンタの中で、解像度が最も良いのはレーザープリンタである。現在では、300dpiがほとんどのレーザープリンタの標準となっているが、新しい機種になればなるほど、その限界はもっと高くなっている。しかし、このようにレーザープリンタから消えていく解像度の限界も、なおいくつかの要素により制約を受けなければならない。

ほとんどのレーザープリンタの場合、解像度のレベルは主としてプリンタ内の電子回路によって決まる。制御回路の中で最も重要な部分は**ラスタイメージプロセッサ**(RIP)である。RIPの仕事は、文字列やそのほかの印刷コマンドを、プリンタから用紙上に表わされるビットイメージに変換することである。実際には、RIPはビデオボードのような働きをしており、ドローイングコマンド(プリントストリームの中の1文字は、その文字のプリントを指示するドローイングコマンドである)を翻訳して、そのページの各ドットの位置を計算し、固有の値をプリンタのメモリに入れる。プリンタのメモリはビデオ画面の走査線(ラスタ)とよく似たラスタ状に配置されており、1つのメモリセル(通常の白黒印刷のレーザープリンタの1ビット)が用紙の1ドットの位置に対応している。

ほとんどのドットマトリックスプリンタは、ドット位置が指定されているグラフィックスを常時受け付けている。つまり、バイトデータがプリンタに送られ、1データを受け取るか、1行分のデータの受け取りを完了するとすぐに、プリンタは忠実にそのデータを用紙上へ打ち出す。

これに対し、レーザープリンタはそれ程迅速には動けない。1回に1ページ全体のデータをまるごと処理し(ここから**ページプリンタ**という名前がついた)、1枚分のグラフィックス全体を読みこなした上で、用紙上にドットをプリントする。レーザー機構は正確に一定のスピードで動作するように調整されており、イメージを正しく作成するためには、データを適切な速度で受け取らなければならない。さらに、多くのレーザープリンタは、用紙上のイメージ領域全体にまたがるような線や図形を描き出すために、高水準言語のグラフィックスコマンドを使っている。

こうした様々な理由から、1ページ全体のビットマップイメージを最高の解像度で一時的に記憶しておくために、レーザープリンタは並外れて大きな容量のメモリを必要とする。このように、レーザープリンタ内のメモリ容量によって、印刷可能なグラフィックスの解像度は制限される。印刷しようとしている解像度のレベルで1ページ全体を記憶するには、十分なメモリがなければならない。もし十分なメモリがなければ、1ページの一部分しか描き出せないことになる。あるいは、1ページ全体を印刷するために解像度をもっと下げなければならない。8×10.5インチのイメージ(8.5×11インチの用紙の約1ページ分)を300dpiで印刷するには945,000バイト必要で、プリンタには1Mバイトのメモリが必要ということになる。いくつかのプリンタに搭載されている512Kバイトのメモリ容量では、8.5×11インチの用紙全体を印刷すると、わずか150dpiの解像度にしかならない。ラスタを記憶する以外の機能として、たとえば、ダウンロードが可能なフォントを記憶させるためにプリンタのメモリを使いたい場合には、さらに大きなメモリが必要となる。

レーザープリンタは英数字を表現する場合、ほと

んど**キャラクタマップモード**で動作しているため、メモリの使用量はそれほど大きくない。プリンタは1文字につき1バイトを使うASCIIコードや、ほかの同種のコードで1ページ全体のイメージを記憶でき、プリンタがそのページを走査していくのに応じて、ひとつひとつの文字のドットを生成していくのである。

RIP自身の設計上の制約から、レーザープリンタの解像度は一定のものに限定されてしまうこともあり得る。しかし、多くのレーザープリンタでは、RIPはプリンタの**ビデオインプット**を使用したアドインプロセッサと取り替えることができる。ビデオインプットは、信号をプリンタの電子回路のほとんどを迂回させ、（テレビの画像のように）ラスタ走査の形で信号にレーザー内の光源を直接制御させることからその名がついている。アドインプロセッサは、レーザーを変調し、振幅を増幅することにより高解像度を作り出すことができる。

Hewlett－Packardの「LaserJet III」シリーズのプリンタには、同社が**レゾリューションエンハンスメント**と呼んでいる高画質化技術が導入されている。この技術は、文字や斜線の縁の部分でドットサイズを変えることにより、マトリックスビットイメージの印刷につきものの階段状のギザギザを小さくするというものである。これにより、レゾリューションエンハンスメントを行えば、用紙上の実際の解像度は300dpiのままで、ドットサイズの最適化によりこれまで以上に鮮明な印刷結果が得られるのである。

現在、レーザープリンタの中には改良したRIPを搭載して、300dpiから600dpiあるいはそれ以上の解像度を持った機種が出てきている。プリントワイヤのサイズがインパクトドットマトリックスの解像度を制限していたのとまったく同様に、レーザープリンタではトナー粒子の大きさによって印刷の鮮明度の限界が決まってくるため、解像度が高くなればトナーにも改良が要求される。レーザープリンタの解像度が高くなるに従い、トナーの重要性は増していくため、特にトナーカートリッジ交換の際には、必ず適切なトナーを使用するように注意しなければならない。トナーが悪いと、せっかくの高い解像度も台無しになってしまうのだ。

16.3　グラフィックス印刷技術

IBMのキャラクタセット互換ビットイメージプリンタの場合は、グラフィックス印刷に2つの方法がある。**ブロックグラフィックス**と**オールポイントアドレッサブルグラフィックス**（全ドットがアドレス可能なグラフィックス）である。両者の大きな違いは品質と互換性にある。ブロックグラフィックスは見た目には不格好だが、これを生成できるソフトウェアとこれを印刷できるプリンタなら、どのような組み合わせでも動作する。逆に、ビットイメージグラフィックスは印刷は鮮明だが、プリンタの制御方法を知っているソフトウェアしか使えない。

ブロックグラフィックス

ブロックグラフィックスはプリンタに組み込まれた特別なキャラクタセットと考えればよい。これによって、正方形、長方形、三角形、横線、縦線といった簡単な形状のブロックを組み合わせて、描画を行うことができる。これらのブロックの形状はそれぞれコード化されているため、プリンタではアルファベットキャラクタと同じ形式で認識されている。グラフ用紙の枡目を埋めて様々な形をつくるように、これらのブロックキャラクタを1行ずつ書き出すことで、あるイメージを描き出すのである。ブロックは大きく、ほとんどのプリンタのデフォルトテキストモードでは全長が1／8インチより少し小さい程度なので、絵は少々ずんぐりした感じに見える。

オールポイントアドレッサブルグラフィックス

ほとんどのビットイメージプリンタではその固有のモードで、**オールポイントアドレッサブルグラフィックス**（APAグラフィックス）と呼ばれる技術を使って、ひとつひとつのドットを用紙のどこに置くかを決めている。この技術の場合、そのプリンタ専用の命令の知識があれば、自分で（ソフトウェアを使って）詳細なグラフを描いたり、新聞に印刷されているハーフトーンの写真のような絵を描くことさえも可能である。プリンタに組み込まれているソフトウェアが、印刷する（黒）、または、印刷しない（白）と指定することにより、印刷可能な位置であればどこへでも各ドットを置くことができる。イメージ全体を描き出す方法はテレビ画像と同様で、用紙を上から下へ数ドット幅（プリントヘッドのワイヤ数と同じ幅）で1行ずつ走査することで可能となっている。

このグラフィックス印刷技術には別名がある。印刷するドットひとつひとつに用紙上の特定の位置、すなわち〝アドレス〟を割り当てることができるということから、**ドットアドレッサブルグラフィックス**と呼ばれることがよくある（単に**ドットグラフィックス**と略されることもある）。さらに、各ドットが効率良く1ビットのデータのイメージとなっていることから、**ビットイメージグラフィックス**という名前で呼ばれることもある。

オールポイントアドレッサブルグラフィックスで問題なのは、プリンタに各ドットをどこに置くかプリンタに指示するコマンドを、ソフト側が知っていなければならないということである。このコマンドについてはプリンタ業界では数多くの標準が生まれた。独自の道を歩み、独自のコマンド体系を採用しているメーカーも一部あるが、大半は業界のリーダーの設定したコマンドに従っている。たとえば、9ピンと24ピンのインパクトドットマトリックスプリンタなら、ほとんどはEpsonかIBMのプリンタと同じコマンドを使用しており、レーザープリンタの場合は、ほとんどがHewelett－Packardの「LaserJet」プリンタと同じコマンドを使用している。

16.4　プリンタの制御

用紙上の印刷結果を、モニタスクリーンに表示されているものに近づけるためには、コンピュータとソフトウェアは、印刷画像の作り方をプリンタに正確に指示しなければならない。ダムプリンタ（単機能プリンタ）の基本的な動作を制御する場合でも、インテリジェントプリンタから特殊な機能を引き出す場合でも、コンピュータはプリンタに一連の命令を送らなければならないという点は同じである。

文字列の流れが、プリンタとホストのコンピュータをつなぐ唯一のデータ経路であるため、コンピュータからの命令は、その文字コードの列の中に組み込まなければならない。このような組み込み式の命令には次のような形式のものがある。

制御コード

最も重要な命令の1つは、たとえば、バックスペースやタブ、文字にアンダーラインを引くといった、ごく一般的な命令である。実際、こうした命令は決まりきったものなので、ASCIIキャラクタセットに組み込まれ、特定の数値が割り当てられている。たとえば、プリンタにバックスペースを実行させるには、バックスペースキャラクタであるASCIIコード08hという値をコンピュータからプリンタに送ってやるだけでよい。プリンタはこのコードを受け取るとすぐに、用紙に何かを印字する代わりにバックスペース動作を行なう。このような特定のASCIIコードのグループを**制御コード**と呼ぶ。

エスケープシーケンス

プリンタのコマンドに使用できるASCIIキャラクタの数はごくわずかだが、プリンタが実行できる機能の数は多い。データチャネルを介して届く追加命令を検出するために、ほとんどのプリンタでは**エスケープシーケンス**と呼ばれる特殊な文字列が使用されている。

エスケープシーケンスは、ASCIIコードの27が割り当てられた特別なコード記号で始まる一連のASCIIキャラクタのことである。この特殊なキャラクタは、プログラマからは**エスケープ(拡張文字)**と呼ばれたり、略してESCと書かれることも多い。

ほとんどの命令では、エスケープキャラクタ(拡張文字)は単なる注意マークのようなもので、単独では何も行わない。次に続くASCIIキャラクタは印字するのではなく命令として解釈しなければならないという注意をプリンタに与えるものである。

ANSIエスケープシーケンス

米国規格協会(ANSI)は、プリンタを制御する標準的なエスケープシーケンスセットを定義している。これらのANSIエスケープシーケンスを一部抜き出したのが**表16-1**である。

表16-1 ANSI制御コード

ASCII値	制御値	ニーモニック	機能
0	^@	NUL	充填文字として使用
1	^A	SOH	ヘッディング開始(インジケータ)
2	^B	STX	テキスト開始(インジケータ)
3	^C	ETX	テキスト終了(インジケータ)
4	^D	EOT	伝送終了;ディスコネクト
5	^E	ENQ	照会;アンサーバックメッセージ要求
6	^F	ACK	アクノリッジ
7	^G	BEL	ベルを鳴らす
8	^H	BS	バックスペース
9	^I	HT	水平タブ
10	^J	LF	改行
11	^K	VT	垂直タブ
12	^L	FF	改ページ
13	^M	CR	復帰
14	^N	SO	シフトアウト;キャラクタセットの変更
15	^O	SI	シフトイン;キャラクタセットの変更
16	^P	DLE	伝送制御拡張文字
17	^Q	DC1	データ制御1(XON)
18	^R	DC2	データ制御2
19	^S	DC3	データ制御3(XOFF)
20	^T	DC4	データ制御4
21	^U	NAK	非アクノリッジ
22	^V	SYN	同期信号文字
23	^W	ETB	伝送ブロック終了(インジケータ)
24	^X	CAN	キャンセル;ただちに制御コードもしくはエスケープシーケンスを終わらせる

ASCII値	制御値	ニーモニック	機能
25	^Y	EM	メディア終了（インジケータ）
26	^Z	SUB	置き換え文字（ファイル終了マーク）
27	^[	ESC	エスケープ；エスケープシーケンス導入
28	^¥	FS	ファイル分離文字（インジケータ）
29	^]	GS	グループ分離文字（インジケータ）
30	^^	RS	レコード分離文字（インジケータ）
31	^_	US	ユニット分離文字（インジケータ）
32		SP	スペースキャラクタ
127		DEL	非動作
128		予約済み	パーサのリセットのみを行う（Esc）
129		予約済み	パーサのリセットのみを行う（Esc A）
130		予約済み	パーサのリセットのみを行う（Esc B）
131		予約済み	パーサのリセットのみを行う（Esc C）
132		IND	インデックス；アクティブラインの増分（紙を送る）
133		NEL	次行；次の行の1文字目に進む
134		SSA	選択領域開始点（インジケータ）
135		ESA	選択領域終了点（インジケータ）
136		HTS	水平タブの設定（アクティブカラムで）
137		HTJ	位置揃えをする水平タブ
138		VTS	垂直タブストップの設定（現在行に）
139		PLD	半改行（下）
140		PLU	半改行（上）
141		RI	インデックスの反転（用紙を1行もとに戻す）
142		SS2	シングルシフト2
143		SS3	シングルシフト3
144		DCS	装置制御文字列
145		PU1	プライベート使用1
146		PU2	プライベート使用2
147		STS	端末属性の設定
148		CCH	取り消し文字
149		MW	メッセージ書き込み
150		SPA	プロテクトエリア開始点（インジケータ）
151		EPA	プロテクトエリア終了点（インジケータ）
152		予約済み	Esc X と同機能
153		予約済み	Esc Y と同機能
154		予約済み	Esc Z と同機能
155		CSI	コントロールシーケンス開始
156		ST	文字列終端
157		OSC	オペレーティングシステムコマンド（インジケータ）

ASCII値	制御値	ニーモニック	機能
158		PM	プライベートメッセージ
159		APC	アプリケーションプログラムコマンド
7ビット環境用ANSI標準エスケープシーケンス			
エスケープシーケンス		機能	
Esc D		インデックス	
Esc E		縦行	
Esc H		水平タブの設定	
Esc Z		垂直タブの設定	
Esc K		半改行（下）	
Esc L		半改行（上）	
Esc M		インデックス反転	
Esc N		シングルシフト2	
Esc O		シングルシフト3	
Esc P		装置制御文字列	
Esc [		コントロールシーケンス開始	
Esc ¥		文字列終端	
Esc]		オペレーティングシステムコマンド	
Esc ^		プライベートメッセージ	
Esc _		アプリケーションプログラムコマンド	

この表は、Digital Equipment Corporationが実装しているキャラクタ

コマンドのデファクトスタンダード

パーソナルコンピュータ製品ではたいへんよくあることだが、標準のエスケープシーケンスとされているものは、実際には標準ではない。ANSIの表は主として、活字型キャラクタプリンタを使用してテキストを処理することを意図したものであるが、多くのプリンタは、ANSIの範囲を超える先進のグラフィックスやほかの機能を持っているため、ほとんどのプリンタメーカーは、自社のプリンタの特別な要求に合わせて、標準の拡大、修正、そして無視を行ってきたのである。

プリンタに実際に存在する標準はすべて、**デファクトスタンダード**（事実上の標準）であり、単に多くの人がそれに従ったという理由だけで、標準としての地位を得たものである。一般的には、一番売れている製品を製造している大手メーカーの使用するコードやコマンドに、それらの互換製品を製造している小規模メーカーが従うといった構図になっている。

デイジーホイールコマンド

当初、活字型キャラクタプリンタの市場は2社に支配されていた。XeroxのDiablo部門と、PCが初めて登場した当時に複合企業ITTが所有していたQume社である（Qumeはその後何回か持ち主が変わっている）。これら2社によって製造されたプリンタの使用するコマンドは、レタークオリティプリンタの互換標準として登場した。レーザープリンタの中には、古い技術のプリンタの代わりに使用でき、しかも、古いワードプロセッサに連結して動かせることから、Diablo互換、Qume互換であることを誇るものすらある。

これら2社のコマンドセットはきわめてよく似ており、わずかな数の命令が違っているだけである。**表16-2**に2つのコマンドセットを簡単にまとめた。

表16-2 Diablo と Qume の制御コードとエスケープシーケンス

制御コード			
ASCII 値	制御値	ニーモニック	機能
1	^A	SOH	連続してユーザーテストを実行する
2	^B	STX	1回ユーザーテストを実行する
3	^C	ETX	ユーザーテストを停止する
7	^G	BEL	ベルの音を鳴らす
8	^H	BS	*バックスペース
9	^I	HT	*水平タブ
10	^J	LF	*改行
11	^K	VT	*垂直タブ
12	^L	FF	*改ページ
13	^M	CR	*復帰
27		Esc	ノーマルモードへ戻る
31		US	プログラムモードキャリッジ動作
127		DEL	*非動作

エスケープシーケンス	
エスケープシーケンス	機能
Esc BS	*1/120 インチバックスペース
Esc LF	*逆改行
Esc SO	一次モードへ移行
Esc SI	ノーマルモードへ戻る
Esc RS n	縦のスペーシング増分を $n-1$ に設定する
Esc US n	横スペースの増分を $n-1$ に設定する
Esc VT n	全体垂直タブを $n-1$ 行に設定
Esc HT n	絶対水平タブを $n-1$ 行に設定
Esc SP	特殊文字位置 004 のプリント
Esc SUB I	プリンタの初期化
Esc SUB SO	端末自己診断
Esc CR P	プリンタの初期化
Esc 0	*右マージンの設定
Esc 1	*水平タブストップの設定
Esc 2	*全水平タブストップの消去
Esc 3	*1/60 インチのグラフィックス
Esc 4	*グラフィックスオフ
Esc 5	*順方向プリント
Esc 6	*逆方向プリント
Esc 8	*水平タブストップの解除
Esc 9	*左マージンの設定
Esc .	自動改行オン
Esc ,	自動改行オフ

エスケープシーケンス	機能
Esc <	自動双方向プリントオン
Esc >	自動双方向プリントオフ
Esc +	上マージンの設定
Esc −	下マージンの設定
Esc @T	ユーザーテストモードに入る
Esc #	二次モードに入る
Esc $	*WPS (プロポーショナルスペースの印字ホイール) オン
Esc %	*WPS (プロポーショナルスペースの印字ホイール) オフ
Esc (n	n桁め (nは複数指定可能) にタブを設定
Esc) n	n桁め (nは複数指定可能) のタブを解除
Esc ／	特殊文字位置 002 をプリントする
Esc C n m	n列に対する絶対水平タブ
Esc D	*逆半改行
Esc E n m	水平スペースの増分を設定
Esc F n m	フォームの長さを設定
Esc G	*1／120 インチのグラフィックス
Esc H n m l	相対水平動作
Esc I	アンダーラインオン
Esc J	アンダーラインオフ
Esc K n	ボールドオーバーライトオン
Esc L n m	垂直スペースの増分を規定
Esc M n	ボールドオーバーライトオフ
Esc N	次の文字の印字後に印字位置を変えない
Esc O	右マージン制御オン
Esc P n	n行目に絶対垂直タブを設定
Esc Q	シャドウプリントオン
Esc R	シャドウプリントオフ
Esc S	無印字オン
Esc T	無印字オフ
Esc U	*半改行
Esc W	自動復帰／改行オン
Esc V n m l	相対垂直用紙動作
Esc X	強制実行
Esc Y	右マージン制御オフ
Esc Z	自動復帰／改行オフ
Esc e	シートフィーダページイジェクト
Esc i	シートフィーダがトレイからページを挿入する
Esc x	強制実行

注：Queme「Sprint II」のコマンド；*は「Diablo 630」と共用するコマンド

EpsonとIBMの9ワイヤ式プリンタのコマンド

ドットマトリックスプリンタのデファクトスタンダードに最も近いのが、IBMとEpsonが使用しているコードおよびコマンドである。IBMの最初のグラフィックスプリンタがEpsonの「MX－80」をベースにしたものであったため、両社のコマンドは密接な関連性を持っている。両者のおもな違いはキャラクタセットにある。IBMは様々な種類の特殊記号に256個のASCIIコードの上半分を使って、IBM拡張文字セットを作っているが、Epsonはそれらのコードをイタリック体に使用している。両社のプリンタが使用するコマンドは、9ワイヤ式ドットマトリックスプリンタのデファクトスタンダードとなっている。それらのコマンドを簡単にまとめたのが**表16-3**である。

表16-3　Epsonの制御コードとエスケープシーケンス

制御コード			
ASCII値	**制御値**	**ニーモニック**	**機能**
7	^G	BEL	ベル音を鳴らす
8	^H	BS	バックスペース
9	^I	HT	水平タブ
10	^J	LF	改行
11	^K	VT	垂直タブ
12	^L	FF	改ページ
13	^M	CR	復帰
14	^N	SO	[2]倍角印字モードをオンにする
15	^O	SI	[2]長体印字モードをオンにする
17	^P	DC1	[2]プリンタ選択
18	^R	DC2	長体印字モードをオフにする
19	^S	DC3	プリンタ解除
20	^T	DC4	倍角印字モードをオフにする
24	^X	CAN	行取り消し
127		DEL	非動作

エスケープシーケンス	
エスケープシーケンス	**機能**
Esc SO	[2]倍角印字モードをオンにする
Esc SI	[2]長体印字モードをオンにする
Esc EM	[2]カットシートフィーダ制御
Esc SP	[2]文字間隔選択
Esc !	[2]モード組み合わせ選択
Esc #	[2]MSBモード取り消し
Esc $	[2]絶対水平タブ設定
Esc %	[2]アクティブキャラクタセット選択
Esc :	[2]ROMをユーザーRAMにコピーする
Esc &	ユーザーキャラクタを規定
Esc ／	垂直タブを設定

エスケープシーケンス	機能
Esc ¥	プリントヘッドを移動
Esc <	片方向（左から右）印字をオン
Esc >	[2]MSB セット（MSB＝0）
Esc ＝	[2]MSB リセット（MSB＝1）
Esc @	[2]プリンタの初期化
Esc －n	アンダーラインモード
	n＝1 または 49、アンダーラインモードをオンにする
	n＝0 または 48、アンダーラインモードをオフにする
Esc ＊n	[2]ビットイメージモード選択（nの後にデータが続く）
	n＝0：通常密度
	n＝1：倍密度
	n＝2：倍速倍密度
	n＝3：4 倍密度
	n＝4：CRT グラフィックス
	n＝6：CRT グラフィックス II
Esc ^	9 ピングラフィックスモード
Esc 0	行間隔を 1／8 インチに設定
Esc 1	行間隔を 7／72 インチに設定
Esc 2	行間隔を 1／6 インチに設定
Esc 3 n	行間隔を n／216 インチに設定（nは 0～255 の範囲）
Esc 4	[2]代替文字（イタリック体）セットをオンにする
Esc 5	[2]代替文字（イタリック体）セットをオフにする
Esc 6	[1]キャラクタセット 1 選択
	[2]高位の制御コードを停止
Esc 7	[1]キャラクタセット 2 選択
	[2]高位の制御コードを復元
Esc 8	用紙切れ検出をオンにする
Esc 9	用紙切れ検出をオフにする
Esc A n	行間隔を n／72 インチに設定（nは 0～85 の範囲）
Esc B	[2]垂直タブストップ設定
Esc C n	フォームの長さを n行に設定
Esc C 0 n	フォームの長さを nインチに設定（nは 1～22）
Esc D	水平タブストップ設定
Esc E	強調モードをオンにする
Esc F	強調モードをオフにする
Esc G	重ね打ちモードをオンにする
Esc H	重ね打ちモードをオフにする
Esc I	[2]制御コード選択
Esc J n	n／216 インチの仮行間隔

エスケープシーケンス	機能
Esc K	通常密度のビットイメージデータ開始
Esc L	倍密度のビットイメージデータ開始
Esc M	エリートサイズの文字がオン
Esc N n	パーフォレーションをスキップする行数の設定
	n=1～127の範囲でスキップする行数
Esc O	パーフォレーションのスキップをオフにする
Esc P	[2]エリートモードオフ／パイカサイズ文字オン
Esc Q n	[2]右マージンをn列に設定する
Esc R	[1]デフォルトのタブに戻る
Esc R n	[2]**国際キャラクタセットの選択**
	n=0：USA
	n=1：フランス
	n=2：ドイツ
	n=3：イギリス
	n=4：デンマークI
	n=5：スウェーデン
	n=6：イタリア
	n=7：スペイン
	n=8：日本
	n=9：ノルウェイ
	n=10：デンマークII
Esc S n	**スーパスクリプト（上付き文字）／サブスクリプト（下付き文字）オンモード**
	n=0または48、スーパスクリプトモードオン
	n=1または49、サブスクリプトモードオン
Esc T	スーパスクリプト／サブスクリプトオフ
Esc U n	**単方向／双方向プリント**
	n=0または48、双方向プリントをオンにする
	n=1または49、単方向プリントをオンにする
Esc W n	**倍角（横倍角）印字モード**
	n=1または49、倍角印字モードオン
	n=0または48、倍角印字モードオフ
Esc X	[1]マージンの設定
Esc Y	倍速、倍密度のビットイメージデータが続く
Esc Z	4倍密度
Esc a	[2]位置揃え
Esc b	[2]垂直タブの設定
Esc e n	**タブの単位の設定**
	n=0または48、水平タブの単位を設定する
	n=1または49、垂直タブの単位を設定する

エスケープシーケンス	機能
Esc f n	**スキップ位置の設定**
	$n=0$ または 48、水平スキップ位置を設定する
	$n=1$ または 49、垂直スキップ位置を設定する
Esc g	[2]15 幅選択
Esc i	[2]即時プリント（タイプワイヤモード）
Esc j	[2]即時一時的用紙逆送り
Esc k	[2]タイプスタイルの種類選択
Esc l n	n列に左マージンを設定
Esc m n	**特殊文字ジェネレータ選択**
	$n=0$、受領制御コード
	$n=4$、受領グラフィックスキャラクタ
Eac p n	**プロポーショナルプリント**
	$n=0$ または 48、プロポーショナルプリントをオフにする
	$n=1$ または 49、プロポーショナルプリントをオンにする
Esc s	**ハーフスピードプリント**
	$n=0$ または 48、ハーフスピードプリントをオフにする
	$n=1$ または 49、ハーフスピードプリントをオンにする
Esc z	レタークオリティプリントかドラフトプリントかを選択

注：[1]＝IBM 専用コマンド、[2]＝Epson 専用コマンド

Epson の 24ワイヤ式プリンタのコマンド

ドットマトリックス技術が 9 ワイヤ式から 24 ワイヤ式へと発展すると、プリントモードが追加されることを考慮して、グラフィクスコマンドを拡大する必要が出てきた。さらにまた、Epson の 24 ワイヤ式プリンタシリーズのコマンドは、パーソナルコンピュータ業界の標準に近づいていった。**表 16-4** は、24 ワイヤ式プリンタ用の Epson の拡大コマンドセットである。

表 16-4　Epson の 24 ピングラフィックスコマンド

モード	ピン	コード	密度（ドット／インチ：dpi）
単密度	8	0	60
倍密度	8	1	120
高倍密度	8	2	120
4 倍密度	8	3	240
CRT I	8	4	80
CRT II	8	6	90
単密度	24	32	60
倍密度	24	33	120
CRT III	24	38	90
3 倍密度	24	39	180
6 倍密度	24	40	360

一般的なコマンドの形式は次の通りである。

```
Esc* m c1 c2 [graphics data]
```

ここで、*m*は表16-4のコード番号であり、*c1*と*c2*はグラフィックスに使用するカラム数を指定している。

*c1*と*c2*の値は、グラフィックスデータを表わすために使用するカラム数を指定するものである。1バイトで256の値しかコード化できないため、もう1バイト使って拡張を行っている。*c1*は下の桁である。必要なグラフィックスカラム数を256で割った商がc2の値であり、余りが*c1*となる。

各行の24ピンのカラムごとに、データのひとつひとつを3バイトでコード化する。最初のバイトは上の8本のワイヤを、2つ目のバイトは真ん中の8本のワイヤを、最後のバイトは下の8本のワイヤをそれぞれコード化している。1バイトのコードの中で最下位のビットは、8個1組みのドットの一番下のドットをコード化したもので、最上位のビットは、8個1組みのドットの一番上のドットをコード化したものである。1という値は、ドットが1つ用紙上に表示されることを示している。

PostScript

レーザープリンタは単なるプリンタ以上のもので、そのほとんどが完全なコンピュータの頭脳を持っている。中には接続されるコンピュータよりも頭の良いものも多数ある。レーザープリンタが理解する命令にその知性が表れており、実際、ソフトウェアのレーザープリンタ制御命令はコマンドというよりは、むしろプログラム言語に似ている。

大量のグラフィックスを作成している人たちの間で最も人気の高いプリンタ制御法は、Adobe Systemsの「PostScript」というページ記述言語である。PostScriptが最初に開発されたのは1985年のことである。これは、グラフィックの要素を記述したコマンドとコードからなり、グラフィック要素を印刷ページのどの場所に表示すべきか指示するものである。コンピュータが高水準のPostScriptのコマンドをレーザープリンタに送ると、プリンタはコマンドを実行してイメージそのものを描き出す。実際上、データ処理の負荷はプリンタに移動しているわけで、こうしたグラフィックスのコマンドを実行するためにプリンタは理論上は最適化されている。しかし、それでも、PostScriptのコマンドがすべてプリンタに転送されてから、プリンタが1ページ全体のイメージを計算するのに数分かかる場合もある（古いPostScriptプリンタでは、1ページ全体のグラフィックスを処理するのに30分以上かかってしまうことがある）。

PostScriptの長所は、その柔軟性である。PostScriptではアウトラインフォントを使用しているが、このフォントは実際のどんなサイズにも拡大縮小することができる。その上、機種や解像度に制限はない。300dpiのプリンタを制御している同じコードで、2,500dpiのタイプセッタが動き、可能な限り高い解像度で最高品質のイメージを作成できるのである。したがって、PostScriptファイルからLaserjetプリンタで草稿を印刷し、それを十分チェックしてから、同じファイルをタイプセッタに送って版下を作成するといった利用法が可能になる。

1990年6月、Adobe Systemsはいくつかの改良を加えたPostScriptの新バージョン、Level 2を発表した。最も目につく点はスピードとカラーである。Adobe Type Managerで使用しているフォントレンダリング技術を採用した結果、「PostScript Level 2」は以前の4倍から5倍のスピードで文書が処理できるようになった。加えてPostScriptは、プリコンパイルし、名前をつけ、キャッシュし、PostScript搭載機内のメモリ（またはハードディスク）にダウンロードしておくことのできる、〝リソース〟と呼ばれる新たに標準化されたオブジェクトのクラスを持っている。したがって、印刷するほとんどすべてものを、アートワーク、パターン、フォームといったリソースとして分類することにより、能率よく処理することが可能になったのである。また、PostScript Level 2はメモリの使用を効率よく管理できるため、ダウンロードするフォントやビットマップグラフィックス用に、プログラムが前もってメモリを割り当てておく必要もない。PostScript搭載機内のディスク記憶装置を処理する新しいファイル管理機能

も内蔵している。さらに、データ圧縮、伸長の機能も内蔵されているため、ビットマップイメージ(そのほかの大きな図形も)の転送は圧縮した形でより高速に行い、転送後にプリンタやそのほかの装置内で展開できる。

PostScriptにカラーが初めて採り入れられたのは1988年であったが、PostScript Level 2ではカラーが大きく考慮されている。PostScript搭載機ではそれぞれ独自のカラー処理法を採用していたが、PostScript Level 2を使えばカラーは機種に無関係に処理できる。また、カラーの質を改良するために、新バージョンではどんな角度ででもカラーのハーフトーンのスクリーニングができるようになっている。これはモアレ除去に役立ち、結果として一層鮮明な描写が可能になっている。Level 2ではフォント処理機能も向上している。古いPostScriptではフォントがそれぞれ256文字に限定されていたが、Level 2になるとフォントは合成して作るため、フォントの種類は基本的には無制限である。フォントの種類が多いと、ローマン体のアルファベットを使用しない言語(日本語など)や区分発音符が多数ある言語には特に便利である。

また、Level 2は「Display PostScript」をサポートしている。これは、PostScriptのコードをディスプレイ画像に変換するための拡張部分である。そのほかにも、プリンタに広く普及しつつある機能の多くを機種に関係なくサポートしており、ペーパートレイ、用紙寸法、給紙、それに書類をステープルでとじるといったことまで、PostScriptで制御することができるようになっている。

もちろん、普通のPostScript対応のプリンタは、このような新しい機能を利用することはできない。Level 2対応のプリンタは、一般に古いコードとは互換性がないからである。完全に互換性がないというわけではなく、ほとんどの場合は、Level 2対応のプリンタは普通のPostScriptコマンドを問題なく処理できるが、Level 2の機能をすべて利用するには、新しいPostScript2のソフトウェアドライバが必要となる。

PCL

Hewlett－PackardのPCL (Printer Control Language)は、初歩的な(現在の水準から見た場合)インクジェットプリンタを制御するために初めて開発されたものである。同社からより精巧なレーザープリンタが登場するに伴い、PCLは拡張され、改良が加えられていった。現在までに5回大きな改訂がなされ、最新バージョンはPCL5と呼ばれている。

PCLの機能は、精巧なプリンタコマンドセットのようなもので、長い文字列によりLaserJetプリンタの様々な機能を引き出す。したがって本当の意味のページ記述言語ではない。

PCL4までのバージョンは、プリンタの様々な機能を引き出す制御コードのシステムに過ぎなかったが、PCL5では、描線コマンドが多く加えられ、様々に拡大縮小の可能なフォント(スケーラブル(アウトライン)フォント)を処理する能力を備えることで、一層の前進を見せている。

PCL5は、正式には1990年2月26日、「LaserJet III」の発表と共に登場した、4つの旧バージョンに続くPCL言語である。PCLは通常LaserJetプリンタを前提として作られているが、PCLの最初の2つのバージョンは、レーザープリンタがどのメーカーからもまだ登場していない時期に発表されている。PCLの最初のバージョンを使った初めてのプリンタは、HPのインクジェットプリンタ「ThinkJet」だった。HPの最初のレーザープリンタであるLaserJetの最初の機種に採用された制御言語は、PCLの3番めのバージョンであるPCL3である。

PCL3標準互換のプリンタがテキストモードで使えるのは、カートリッジフォントのみである。ページ大のグラフィックスは、ホストコンピュータで作成した後、1ビットずつプリンタへ転送しなければならない。

次なる大きな改訂は、初期のデスクトップパブリッシングや類似のアプリケーションの要求に応えて行われた。これらのアプリケーションでは、種類の少ないカートリッジフォントでは済まなくなっていたためである。こうして改訂されたのがPCL4で、同じページに複数のフォントを混在さ

せ、ダウンロードしたフォントが使用できるようになっている。しかし、これらはビットマップフォントで、所定のページに一方向でしか印刷できなかった。なお、初歩的なボックスドローイングやボックスの塗りつぶしはある程度行うことができた。

スケーラブルフォント以外に、PCL5にはベクトルグラフィックス機能が加えられている。これは、精巧にページを構成する高度な機能で、これによって、同じページを縦置きでも横置きでも印刷でき、また、白抜き文字や、影付け、字体のパターンの変更などが可能になった。さらに、PCL5にはプロッタコマンドの業界標準となっているHewlett－Packardのグラフィックス言語、HP－GLの縮小バージョンが組み込まれている。

PCL5を使えば、PostScriptプリンタが作成したのとまったく変わらないイメージを用紙上に実現できるが、実際にはPCL5とPostScriptとの間にはかなりの違いがある。PostScriptは基本的に機種の制約を受けない。比較的安価なデスクトップ型レーザープリンタから高価なタイプセッタまで、パーソナルコンピュータから送り出されるPostScriptのコードは同一である。

これに対して、PCL5は使用できる機種が限定される。現在のところ300dpiのレーザープリンタでしか動作せず、そのコードはタイプセッタでは使用できない。ただし、PCL5の方が使用にあたりライセンスを必要としないので、PostScriptよりも安価という利点がある。

PCL5が発表から1年を経過する中で、Hewlett－Packardのプリンタだけにしか使用されないままであったなら、ただの好奇の対象としかなりえなかったであろう。しかし状況は刻一刻と変化し、PCL5はレーザープリンタを制御する最新のデファクトスタンダードへと変わりつつある。すでに多くのチップメーカーが、PCL5を理解するレーザープリンタ用のコントローラを開発しており、プリンタメーカーはこれらのコントローラを購入して自社の製品に組み込んでいる。現在ではこのような高性能なコントローラの入手は容易で、すぐにもPCL5互換のプリンタで市場が溢れかえるといったこともありうる状況である。これは、PostScript相当の印刷品質を、より安い価格で手に入れることができるということであり、新しくレーザープリンタを購入する際にPCL5互換機を選ぶ十分な理由となる。

16.5　フォント

レーザープリンタ（および同種のLEDシャッタプリンタ、LCDシャッタプリンタ）はすべて、高い称賛を得ているドットマトリックスプリンタの1つである。子供の積み木から城が築かれるように、ひとつひとつの文字はドットで構成される。文字は巨大な三目並べの碁盤のような升目の中へ分割され、その中のどの部分が明るいか暗いかによって、個々の文字の形が決まる。

こうした明暗のパターンをコード化するための情報を、どのように記憶するかでフォントが違ってくる。一般的には、フォントを記憶するのに、**ビットマップフォント**と**アウトラインフォント**と呼ばれる2つの技術のいずれかが用いられている。

ビットマップフォントは、マトリックスを構成するドットのパターンとして各文字をコード化し、個々のドットの位置とカラーを記憶するものである。大きなサイズになれば多くのドットが必要となるため、小さい文字とは異なるパターンコードが必要となる。実際、文字の大きさ、文字のウェイト（ボールド、コンデンス、ライトなど）のほか、文字の傾斜（ローマン体をイタリック体にする）ということにまで、それぞれ固有のコードが必要である。いいかえれば、1種類の文字にそれぞれ異なる何十ものビットマップフォントが必要となる場合もあるわけだ。

アウトラインフォントは、数学的な記述として

各文字をコード化したもの、つまり、基本的には文字を構成している一画一画（ストローク）をコード化して文字を作り上げるものである。文字の輪郭（アウトライン）はこのストロークが定義している（この技術の名称もこれに由来する）。したがって、コンピュータやプリンタは、印刷に必要なビットパターンを作成する際には、メモリに記憶された各文字を描けという数学的命令を実行するラスタイメージプロセッサ（RIP）の役割を果たしていることになる。ほとんどの字体では、1つの数学的記述でどのような大きさの文字でも作成できる。最終的な文字の大きさに合わせて、文字の個々のストロークの大きさを単に拡大縮小するだけでよいのだ（このため、アウトラインフォントは**スケーラブルフォント**とも呼ばれることがある）。したがって、1つのコードでどんな文字サイズにも対応できるわけだが、異なったウェイトや傾斜になるとまた少し違った別のコードも必要になる。1種類の文字に対して1つのコードで表わすことができるフォントの種類は比較的少なく、ノーマル、ボールド、ローマン、それにイタリックといった字体の組み合わせだけである。

フォントを拡大縮小するだけで、ほとんどの場合は満足できる程度の印刷結果が得られる。しかし、もっと読みやすくもっと鮮明なテキストを作成しようとすると、一般的に、小さな文字は大きな文字とは少し違った形になってしまう。たとえば、各文字のセリフは、小さな文字の場合はほかの部分と均整のとれた形で心持ち大きめにしないと、消えて見えなくなってしまうことがある。ビットマップフォントの場合は、各サイズの文字を別々に設計できるので、このような問題は自動的に補正される。一方、アウトラインフォントでは、各字画を記述する方程式の中に、特定のサイズできれいに文字をつくるために、変更すべき点についての指示（ヒント）を入れることができる。こうした追加情報が含まれたアウトラインフォントを**ヒンテッドフォント**といい、特に大きなサイズ、大見出し、そしてきわめて小さなサイズの文字をそれぞれ鮮明な形で作成するのに用いられる。

PostScript Level 2では、アウトラインフォントのレベルがさらにもう一段階向上している。その**マルチプルマスタフォント**を使えば、1種類の文字に属する複数の字体を、1つのフォントとしてコード化できる。つまり、1つのフォント定義で1つの字体のイタリック体、ローマン体、ボールド体（そのほか全サイズ）をすべてカバーすることができるのである。

アウトラインフォントを記憶するのに必要な方程式は、一般にビットマップフォントよりも記憶容量（ディスクまたはメモリ内のバイト数）が多く必要である。しかし、アウトラインフォントのすべての種類の文字を記憶するのに必要な容量は、ビットマップフォントの1つの種類の文字を記憶するよりもかなり少ないスペースですむ（アウトラインフォントの場合、1つのフォントで全サイズを受け持つからである）。通常のビジネス印刷の場合は、使用するフォントの種類は（サイズのバリエーションを含めても）1ダースにも満たないのが普通で、この点に関して両者の違いはそれほど重要ではない。しかし、グラフィックアーティスト、出版社、そのほか活字や印刷で実験を試みたい人にとっては、アウトラインフォントはおおいに融通のきくフォントであるといえる。

一方、ビットマップフォントは印刷速度が早い。アウトラインフォントは一段階余分な計算（ラスタイメージ処理）を行わなければならないために、印刷時間が長くなるのに対し、ビットマップフォントは余分な操作なしに、メモリから直接検索することができるからである。

記憶と検索

フォント文字を記述する情報は、どこかに記憶しなければならない。このためにとても大きな容量が必要になる場合があることを考えると、フォントをどこに記憶させるかということは、パーソナルコンピュータやプリンタの使用法に大きな影響を与えることもありうる。

ドットマトリックスプリンタの場合と同様に、レーザープリンタが内蔵しているフォントの種類は少ない。どのレーザープリンタにも標準装備されているのは、タイプライタの時代から続いている、お馴染みの10ピッチのクーリエである。クーリエの最も親しみのある特徴は（少なくともソフト

ウェア設計者とプリンタ設計者にとっては)、それが"モノスペース"であること、すなわち、各文字がまったく同じ幅であるということであろう。この字体のビットパターンは、ほとんどすべての機種のROMにコード化されて組み込まれている。クーリエは、文字印刷のコマンドを与えるだけで即座に引き出すことができ、一般にこの方法で使用されている。

プリンタの中には、そのほかの字体もROMに持っているものがあるが、その数は多くの理由により異なる。大手メーカーの場合は、ROM内に組み込む字体数はできるだけ少なく抑えているが、一方弱小メーカーは、製品に競争力を持たせるために字体数を多くしているのが一般的である。

■ フォントカートリッジ

プリンタへはいくつかの方法でフォントを追加できる。最も追加作業が簡単なのは**フォントカートリッジ**である。カートリッジ内にあるROMチップには、様々な字体を作成するドットパターンが記憶されており、カートリッジ自体は、このROMチップとプリンタへの接続用のコネクタとを収める単なるケースである。カートリッジを接続するだけで、プリンタ内のROMにカートリッジ内のROMを追加する作業は完了である。インパクトプリンタやレーザービットイメージプリンタの多くは、フォントカートリッジが使用できる設計になっている。

気をつけなければならないのは、各メーカーのカートリッジはそれぞれ種類が異なり、お互いに互換性がないことである(ときには、同じメーカーのものでも、プリンタの種類が異なればカートリッジに互換性がないこともある)。これに対し、レーザープリンタメーカーの中には、自社のプリンタをHewlett－Packardのレーザープリンタ用カートリッジと互換にしようとしているところもある。

フォント自体に費用がかかることのほかに、フォントカートリッジ技術の欠点としてあげられるのは、利用できるカートリッジスロットの数が限られていることである。1つのカートリッジに記憶できるフォントの数は、せいぜい6～12種類である。特にビットイメージフォントにとって、こうした容量の小ささは足かせとなりうる。この問題を回避するため、進取の気概に富むデベロッパー数社が、1つのカートリッジに何十種類ものフォントを詰め込むことに取り組み、すでにそれに成功している。

■ ダウンロード文字セット

ほとんどのレーザープリンタは、フォントをダウンロードすることも可能である。つまり、文字の記述をパーソナルコンピュータのメモリからレーザープリンタ内のRAMへ転送し、あたかもROMにあるかのように個々の文字を必要に応じて呼び出すことができるのである。これらの文字は**ダウンロード文字セット**と呼ばれたり、また、ソフトウェアとして転送されるのことから**ソフトフォント**とも呼ばれたりする。一般にソフトフォントは、ソフトウェアの場合と同じように、フロッピーディスクの形で購入し、パーソナルコンピュータのハードディスクにコピーして使用する。レーザープリンタに使用するソフトフォントは、ハードディスクの容量が許す限りいくらでも記憶させることができる。

ソフトフォントにはいくつか欠点もある。プリンタのスイッチを切れば、追加したソフトフォントもメモリから消えてしまうため、ソフトフォントを使う度に、パーソナルコンピュータからプリンタへ転送しなければならないことである。さらに、プリンタにダウンロードしたソフトフォントは、プリンタのRAMのかなりの量を占有してしまうが、レーザープリンタのメモリ容量には限界があるため、ロードできるソフトフォント数が制限されることである。グラフィックス印刷のためにメモリに余裕を残そうとした場合、一般に記憶可能なフォント数は8種類程度である。

ソフトウェアの中には、必要なフォントのビットパターンを独自に作成するものがある。これだと、ソフトフォントがプログラムに組み込まれているのと変わらないことになる。ソフトウェアは、(プリンタでビットパターンに転換されるキャラクタストリームを送る代わりに)作成したビットパターンをプリンタへ転送するのだが、この技術には大きな代償が伴う。ビットパターンはキャラ

クタよりも多量のメモリを必要とするため、レーザープリンタにも大きなメモリが必要となり、最高レベルの解像度で1ページを印刷するには1Mバイト以上のメモリが必要となるのである。さらに悪いことには、データの分量が大きくなればなるほど、それだけプリンタへ転送する時間が長くかかり、結果として印刷時間が長くなるのである。

Hewlett－Packard の LaserJet の印刷規格に準拠した古いプリンタでは、カートリッジフォントやソフトフォントを使わないときと同様に、ごく簡単なグラフィックス以外はすべてこうしたビットイメージの転送が必要であった。これに対し、ページ記述言語は、テキストであれグラフィックスであれ、1ページ全体をコード化した形で高速に転送することができる。したがって、高性能なレーザープリンタではページ記述言語の使用が趨勢となっている。

このタイプの言語で最もよく知られているのが、PostScript と PostScript Level 2 である。PostScript は Adobe Systems の特許製品で、プリンタメーカーにライセンス使用が認められている。このため、ライセンスを得て PostScript を搭載しているプリンタは、PostScript を搭載しない機種に比べてライセンス費用分価格が高くなっている。この費用を払わずにすむように、多くのメーカーが方向転換をして、PostScript 互換の言語を開発している。PostScript 互換の言語を使用するほうが費用は少なくてすむ。現在、こうしたクローンは PostScript に十分匹敵するほどのものとなっているが、PostScript Level 2 への移行には追いつけないでいる。PostScript ではアウトラインフォントを利用しており、実際、PostScript 対応のプリンタのほとんどに35種類のアウトラインフォントが組み込まれている（値段の安いものの中には、17種類しか標準装備していない機種もある）。

Hewlett－Packard 製のプリンタは、もう少し規模の小さい制御言語、PCL を使用している。最新の LaserJet III シリーズでは PCL5 を使用しており、アウトラインフォントが利用できるが、もっと初期の LaserJet プリンタ（LaserJet, LaserJet Plus, LserJet II シリーズ）では、アウトラインフォントを受け付けない PCL の旧いバージョンを使用している。

要するに、ダウンロード可能なフォントを利用するためには、ほとんどの場合、PostScript 対応、PostScript 互換、または PCL5 互換のプリンタが必要ということである。

フォントフォーマット

しかしながら、アウトラインフォントはすべてが同じものではない。数種類の標準が存在してしまっているため、追加するフォントはハードウェアやソフトウェアが採用している規格に合ったものでなければならない。このようなフォント規格のおもなものに、「Intellifont」、「Type1（PostScript）」、「Speedo」、「TrueType」がある。

LserJet III シリーズのプリンタ（および PCL5）に標準装備されているフォントフォーマットは Intellifont と呼ばれる。Agfa Compugraphic と Hewlett－Packard との共同開発によるこの Intellifont は、ラスタ走査が速いことで知られ、LaserJet プリンタの人気を考慮すると、最も広く使用されているフォントといえるだろう。カートリッジフォントの場合は、フォントのフォーマットについて心配する必要はない。カートリッジが適合しさえすれば動作するし、レーザープリンタやその互換機に差し込むカートリッジなら Intellifont のキャラクタを使用しているからだ。また、LaserJet III プリンタとその互換機のダウンロード可能なアウトラインフォントも、Intellifont 形式を使用している。

一方、PostScript 対応のプリンタは Type1 を使用している。Type1 は恐らくフォントの種類が最も豊富である。「Adobe Type Manager」を使っている Windows では Type1 のフォントを使用することができる。また、OS／2 の 1.3 以降のバージョンでは Type1 のフォントがサポートされている。

多くのプログラムが「Bitstream」フォントを使用しているが、このフォントは Speedo と呼ばれる独自のフォーマットを持っている。通常、このソフトウェアは、パーソナルコンピュータで文字を作成し、ビットイメージの形でプリンタへ転送す

るという形で動作する。Speedoフォントは Lotus 1−2−3とFreelanceが使用している(DOSバージョン)。また、Bitstreamの「FaceLift for Windows」を併用すれば、WindowsでもBitstreamのSpeedoフォントを使用することができる。

Microsoft Windows3.1は、「TrueType」という独自のフォーマットを持っており、これはMacintosh用のOSであるAppleのSystem 7でも使われている。Windows3.1には13種類のTrueTypeフォントがついてくるが、Windowsのコントロールパネルを使えば、もっと多くのTrueTypeのフォントを簡単に組み込むことができる。TrueTypeは、別のフォントフォーマットを使用しているプリンタとも互換性がある。たとえば、LaserJetの場合、使いたいフォントがあれば、TrueTypeが、搭載されているアウトラインフォントの1つからビットマップLaserJetフォントを作成し、そのフォントをプリンタへダウンロードしてくれるのである。この場合では、ビットマップではなくキャラクタをプリンタに送ってやるだけでよいわけだ。同様にPostScriptプリンタでも、TrueTypeは自らのフォントを(フォントに応じて)PostScriptアウトラインフォントやビットマップフォントに転換し、それらをプリンタへ送っている。

Windowsにはフォント選択の柔軟性がある。アウトラインフォントのパッケージにはすべて、Windowsへのインストールを行うプログラムが付属されている。さらに、Windowsのフォントマネージャは、ほかの主要なフォントフォーマット(Adobe Type Manager, FaceLift for Windows, Intellifont for Windows)も使用することができる。

16.6　カラー印刷

カラー出力を要求するアプリケーションが増えている。それに対してプリンタ業界は、低価格のものから写真に近い品質のものまで、個々のニーズに合った数々の技術を揃えてこれに応えてきた。

インパクトドットマトリックスプリンタの多くは、用紙に打ち出すアルファベットやグラフィックスにカラーを加えることが可能である。少数ではあるが、(旧式のタイプライタのように)2色のリボンを使い、特別なソフトの命令で色の切り換えを行っているものがある。

現在ではほとんどのカラープリンタが、3色か4色のインクリボンを使い、これらの色の組み合わせによって、用紙上に7種類の色を表現できるようになっている。たとえば、黄色の上に青を重ねて打ち出すと緑に近い色が得られる。色を切り換えるには、プリンタの機構でリボンを上下に切り換えるだけでよい。この場合追加しなければならない装置は簡単なもので、価格も安く、せいぜい50ドル程度である(もちろん、カラーリボンはモノクロリボンに比べて価格も高く消耗も速い)。色が異なるリボンを必要な色数分だけ使用するという機種も少ないながらあるが、いずれにしても効果や必要な条件はどちらも同じことである。

カラーではノンインパクトマトリックスプリンタが優れている。インクジェットは、その液体インクが乾燥する前にインクを用紙上で実際に混ぜ合わせることができるため、カラー印刷には適した技術である。ただし、カラーのインクジェットプリンタはモノクロのものに比べると機構がかなり複雑で、また、各原色ごとに別々の専用インク筒とノズルが必要なため、価格も相応に高くなる。サーマルワックスマトリックスプリンタの場合は、そのほとんどが特にカラー出力用として設計されている。透明なインクを使って用紙上で色を重ね合わせており、1つの色がほかの色を通して透けて見え、重なった色が視覚的に混じり合うので、必要な色合いを作り出すことができる。

カラープリンタで唯一問題となるのは、その色とりどりの虹に息吹を与える特別のソフトウェアが必要なことである。適当なソフトウェアがない

場合、多色印刷の能力を利用するためには、コンピュータプログラミングを知っていなければならない。現在、ほとんどのインパクトカラープリンタはEpsonの「JX－80」が設定した規格に準拠しているが、この規格では、通常のコマンドセットにリボンカラーを切り換えるエスケープコードを1つ加えている。サーマルワックスプリンタとフェーズチェンジプリンタは、通常PostScriptを使用しており、PostScript 2がこれらのプリンタの共通のカラー言語となるであろう。

16.7　用紙の処理

タイプライタで改行キーを叩くように、プリンタでも用紙を1行ずつ進めなければならない。プリンタとそのオペレータがこの改行作業を行うのを助ける方法がいろいろと開発されている。プリンタに自分の思い通りにプリントさせるためには、プリントの際の用紙の処理の仕方や、処理できる用紙の種類に関する仕組みを詳しく知っておく必要があるだろう。

フリクションフィード

旧式のタイプライタの紙送りは、**プラテン**という大きなゴムとそれより小さいローラーとの間に用紙を押し込むという機構で行われていた。この機構では、用紙はプラテンを巻くようにセットされ、その上からハンマーが打ち付けて印字する。用紙はペーパーベイルで上から押さえられているが、用紙を挿入する時は邪魔にならないように、用紙から離す。用紙が印字されるごとに1行ずつ巻き上げられていくときは、プラテンとローラーとペーパーベイルの間の摩擦で、用紙が滑らないようになっている。この紙送りシステムはしばしば**フリクションフィード**（摩擦送り）と呼ばれる。

ほとんどの場合、フリクションフィードといえば、用紙の挿入は手作業であるという意味が含まれている。使用者が自分でペーパーベイルを上げ、紙を1枚挿入し、プリントヘッドが斜めにタイプしないように用紙を水平に整え、用紙を固定し、ペーパーベイルを下げ、最後にすべて完了したという信号を機械に送らなければならない。もちろん、言うは易く行うは難しである。もしブリタニカ百科事典のコンピュータ版を印刷しようなどと思ったら、難しいこと以上に飽き飽きしてしまうことだろう。プリントアウト中は側にいて、わき目もふらずにプリンタに注意を払い、1枚印刷が終わるごとに新しい用紙をセットしなければならないのだ。

しかし、この仕組みにはプラスの面もあり、ほとんどのフリクションフィードでは、装置にうまく挿入できる用紙であれば、自分専用の便箋や、W－2からW－1040規格の封筒、索引カードなど、どんな大きさの用紙にも印刷できる。

自動シートフィーダ

人がすることは何でも、誰かが必ず機械にもやらせてみようとするものだ。しかし、その機械を手の出せるような価格にできるかどうかは別問題である。フリクションフィードプリンタへの給紙もこの例外ではない。**自動シートフィーダ**（またはビンフィード）と名付けられたこの装置は、人間が手を出したり注意を払ったりしなくても、標準サイズの用紙や無罫紙であれば、そのほとんどを自動的にプリンタに挿入することができ、退屈やイライラから人を解放するものである。残念ながら、シートフィーダは、コンピュータシステムを拡張する付属装置の中では最も複雑なものの1つで、複雑すぎて使いものにならない発明品のようなものも数多くある。一般に値段というものは複雑さに応じて上昇するものであり、当然シートフィーダも高価で、簡単に数百ドルといった単位になる。ほとんどのシートフィーダは単票用紙用に設計されており、コピーを作るには、別の紙でもう一度印刷しなければならない。もちろんカー

ボンは使用できない。2枚以上コピーが必要なら、印刷も2回、3回と行わなければならない。

ロールフィード

フリクションフィード装置に紙を挿入する回数を減らすには、紙を長くすればよい。実際に、長く連続した1枚の紙を使って印字を行うことができる。あるシステムではまさにこの方法を採用して、長いシートを（トイレットペーパーのように）ロールに巻き付けて使用している。プリンタは必要に応じて用紙を引き出すだけでよい。プリンタの後部にロールホルダーを取り付けておけば、用紙は常に真っ直ぐに揃えておくことができるため、紙のゆがみも生じない。

もちろんこのシステムの欠点は、1枚の長い紙のまま打ち出されるため、プリントアウトが終わったら、自分で用紙をカットしなければならない。従来の8.5×11インチのサイズでプリントアウトしたものが必要な場合には、自分で測って切らなければならないのだ。

ピンフィードとトラクタフィード

ロールフィードの紙に11インチ間隔にミシン目を入れておけば、簡単かつきれいに1枚1枚を切り離すことができる。しかしその場合は、別の問題が発生する。ほとんどのフリクションフィードは完全なものではないため、紙が滑って徐々にずれてしまい、印刷するイメージの途中でページが終わったり、ミシン目とページが変わる箇所が一致しなくなる状態が生じてしまう。用紙と印刷イメージとがずれてしまうのである。

これについては、紙滑りを抑えるスプロケットに用紙の端の穴を固定すれば、イメージと紙の切れ目とを常に一致させておくことができる。紙滑りをなくすために、スプロケット用の穴をあけた紙を使用している給紙システムには2種類ある。その1つ、**ピンフィード**は、プラテンローラの両端にドライブスプロケットを取り付けたものだが、このピンフィードの機構では、1種類の紙幅、すなわち、プラテンの両端にあるスプロケットの幅と同じ幅の用紙しか扱えないという欠点がある。一方**トラクタフィード**は、幅を調整できる可動型のスプロケットを使用したもので、プリンタ幅に収まる紙幅であれば、ほとんどすべての用紙が使用できる。

名前が示すとおり、**単方向トラクタ**は一方向のみに（前進方向であることが望ましい）用紙を引っ張る（または送り込む）タイプのもので、**双方向トラクタ**は用紙移動が前方向にも後方向にも可能なものである。後者は、グラフィックスや特殊なテキスト（指数など）の印刷に有効で、プリントヘッドの位置に合うように用紙位置を調節する際にも便利である。

プッシュトラクタとプルトラクタ

プリンタ用のトラクタ装置は元々は二段式で、1組のスプロケットが用紙をプリンタの中へ送り、もう1組のスプロケットが紙を引き出す仕組みになっていた。しかし、トラクタフィードの本来の目的、つまり、印刷イメージを用紙とずれないように合わせるためには、スプロケットは1組あれば十分である。

スプロケットを1組だけにした場合、その設置場所は、プリントヘッド正面のプラテンに用紙が巻き付く前かその後の、2箇所が考えられる。一部のプリンタには、どちらの場所でもスプロケットが使えるようになっているものもあるが、それ以外ではトラクタはどちらか一方に固定されている。

プッシュトラクタは、用紙がプリンタに入る手前の位置にあって、プリンタ内部を通して外まで用紙を押す仕組みのものである。プラテンローラは用紙が楽にプリンタを通り抜けられるように補助し、他方プッシュローラは主動力となって、用紙を正しく送り込む。この送り方には2つの利点がある。印刷終了後に余分にもう1枚用紙をプリンタに送り込んだり、再度入れなおしたりしなくても、プリントアウトした最後の1枚を切り離すことができるという点である。また、トラクタは比較的簡単に双方向に動くので、用紙を前へ押し込むだけでなく、引き戻すこともできる。

プルトラクタは、印字を行う部分から用紙が出てきた後の位置に置かれている。プルトラクタによってプラテンに巻き付いた用紙が引っ張られるのだが、この場合、プラテンと用紙はぴったりくっ

ついているため摩擦があり、用紙を引っ張るトラクタの力とこの摩擦の抵抗力とで用紙は平らに保たれる。プルトラクタのほうが機構が簡単なため、プッシュ型の設計より故障は少ない。

ほとんどのプルトラクタは一方向にしか動かないが、（丸形のラバー製プラテンの代わりに）平形の金属製プラテンを使ったプリンタでは高速な使用が十分可能である。一般に1分につき数ページという高速印刷が可能なことから、プルトラクタは、1枚ぐらい無駄があっても問題ない大量印刷業務で使用されることが多い。

シートフィーダ

他の形式のプリンタでは高価なオプションであり、すべてのレーザープリンタが必要上やむを得ず備えている複雑な機構がカットシートフィーダーである。レーザープリンタは積み重なった中から用紙を1枚だけ取り出し、複雑なイメージ作成装置の中を通して、外まで運び出さなければならない。今日のレーザープリンタが現在の動作レベルに達したのは、ほかでもないプリンタのエンジニアたちの創意工夫によるものである。しかし、機種によって、用紙処理の考え方やその使いやすさには著しい差異がある。

違いの1つは容量である。レーザープリンタの中でパーソナル用に作られた手軽なものは、トレイ（カセット）もあまり大きくなく、50枚程度しか入らないものがある。この場合は、10分から15分ごとに用紙を補充したり、印刷された用紙を取り除いたりして、プリンタの要求に応えてやらなければならない。もし、このタイプのプリンタで大量印刷などしようものなら、プリンタを子守りするのと同じで、一日の過ごし方としてはたいへんつまらないものになるだろう。

レーザープリンタでは、印刷後の用紙の吐き出し方に2通りの方法がある。つまり、印刷された用紙がトレイに落ちる際に、印刷面が上を向くか下を向くかということである。印刷面が上を向いていれば、どんな恐ろしいことが用紙上に広がっているのかすぐに確認できるという点でよいが、やはり、下向きの方が賢明な選択といえるだろう。印刷された用紙が1枚ずつ前に打ち出された用紙の上に重なっていく場合に、印刷面が下になっていれば、積み重なった用紙の山を正しい順序に揃え直す必要がないからである。

用紙の両面に印刷するというプリンタとしての最終段階が両面プリンタである。多量の報告書を印刷する場合などは、用紙の消費量を半分に削減することによりランニングコストを節減できるので、高価な両面プリンタを購入しても元は取れるだろう。

用紙の制御

装置内の用紙移動をどの程度まで正確に行えるかという点でも、プリンタによって大きな差がある。厳密な許容誤差しか許さず、用紙移動の単位が1インチの何百分の1（1／216インチ程度）という機種もある。一方、少数ではあるが、タイプライタの伝統を引き継ぎ、1行単位（または半行単位）でしか用紙を送れないものもある。

趨勢としては、一層精密な制御に向かっている。その方がテキスト印刷では書式の柔軟性が広がり、グラフィックス印刷でも精密さが増すからである。たとえば、前者の場合なら、原稿用の1インチ6行の書式からビジネスレター用の1インチ8行の書式へと行送りを切り換えることができ、骨の折れる論文の宿題などの場合には、各行の送りをほんの少し長くして、10ページ分を12ページ分にごまかすこともできる。

プリンタは、用紙の前後の動きに対するもう1つの方向の動き、すなわち、プリントヘッドの横の動きをどのように制御するかという点でも異なっている。少数の旧式のプリンタは、現在でもタイプライタの機械式の歯車で動いている。しかし、ほとんどの新式の機種では、テキストモードでは文字ピッチを、グラフィックスモードではドット間隔や印刷スピードを切り換えられるようになっている。こうした柔軟性は、プロポーショナルのテキスト印字やグラフィックの多様な濃度を表現するのに必要である。

スマートプリンタとダムプリンタ

プリンタは単に暴力的な紙打ち機械ではない。プリンタには頭脳もなければならない。最も安い

インパクトドットマトリックスプリンタでも、イメージを構成するひとつひとつのドットを用紙上の正しい位置に正確に打ちつけるためには、印字ワイヤの1本1本を突き出す正確な瞬間を判断できるだけの知性が必要である。レーザープリンタの場合は、フォントカートリッジ内の各文字を用紙上の正しい位置に合わせ、1枚印刷し終わるまでに、恐らく700万回以上光線を飛ばさなければならない。デイジーホイールプリンタでは、回転するホイール上の必要な文字が、ハンマーとぴったり一直線にそろった瞬間に合わせてハンマーを打ち付けなければならない。さらに、いずれのプリンタでもその舞台裏では、ボールド体の文字を印字するとか、フォントを変えるとかといった高度な作業を実行するために、送られてきたデータから印刷文字とコマンドとを区別しなければならないのである。

プリンタは生まれながらの知性にかなりの差がある。多くのプリンタは操り人形にすぎず、命令を受けてそれを実行するだけであるが、もっと大きな能力を有するプリンタもたくさんある。印刷する書式に従ってデータを並べることまで可能な機種もある。

古典的な全機械式のテレタイプに代表される古いプリンタの知能は、印字が用紙の端に到達していることすら判らないといった程度のものだった。送られてきたデータの適切な箇所に改行を入れて短い行に分割しなかったり、テキスト内に改行文字が入っていなければ、この手のプリンタは小説一冊分の文字ですら喜々としてプラテンに打ち続けて、最後にはプラテンにすっかり穴をあけてしまうだろう。現在のプリンタの多くは、ほとんどが原始人に等しい程度の頭脳を持っており、何をすべきかを正確に教えてくれるコンピュータとそのソフトウェアに従って動作している。特定のプリンタを使用するように設計されている、ワードプロセッサなどのコンピュータプログラムの中には、データの流れの中に特殊なASCIIコードを追加する、特殊なプリンタドライバソフトが組み込まれているものもある。プロポーショナルで文字を印字するために、文字の間を移動するプリントヘッドの1インチの何十分の1、何百分の1といった細かな動きのひとつひとつ、打ち出す文字のひとつひとつ、プラテンの回転のひとつひとつ、これらすべてがコンピュータプログラムによって具体的に指示され、プリンタへと送られる。

しかしその一方で、頭の良いプリンタなら、これらと同じテキスト処理機能を独力で引き受けることができる。ほとんど書式設定のされていない一続きのテキストを受け取り、それを均整の取れた間隔の行に分割し、ページの上下には適切なマージンを残すことができるのである。このような様々な仕事をこなすために、現在では価格の高くないプリンタですら、専用のマイクロプロセッサを内蔵している。プリンタは内部のミクロの頭脳の助けにより、デイジーホイールの正しいペタルを印字ハンマーの正面に持ってきたり、ドットマトリックスプリントヘッドのワイヤの打ち出しのタイミングを計算したりしているのである。

水平タブと垂直タブ

プリンタの知性が発揮される場の1つが、プリントヘッドの動作を最適化すること、つまり、プリントヘッドの移動を最も効率よくすることである。プリンタ内部のマイクロプロセッサは、メモリの先を見て、次に何がやって来るかを把握し、次の行への移動距離を最短にする方法を考えて、プリントヘッドや印字ホイールを最適化することができる。この場合の目標は、プリントヘッドの移動をできるだけ早くすることである。しばしば**ロジックシーキング**プリンタと呼ばれるこの種のプリンタでは、プリントヘッドの移動を最適化するために数多くの技術を駆使している。水平タブを使えば、ひとつひとつのスペースで立ち止まって、ここは印字するのかしないのかいちいち考えなくても、各行のブランクスペースを一瞬にして用紙上に表わすことができる。**垂直タブ**も効果は同じで、ページ中の空行をプリントヘッドが巧みに飛び越えることができる。これら2つの技術に双方向印刷が加われば、これらの機能のない機種と比べると、印字速度の仕様は同じでも、普通の書類なら実際の印字速度は速くなる。

16.8 消耗品

消耗品とは、プリンタがその作業を行うことで使い果たし、すり減らし、燃やし尽くすもののことである。用紙は消耗品の代表的なものであり、どのプリンタでも必ずその需要がある。そのほかの消耗品の中には、実際に消耗して費用が発生していることが明らかに目に見えるわけではなく、場合によってはまったく分からないものもある。

これらの消耗品の費用に敏感で、古いドットマトリックスリボンの印字が薄くなり読みづらくなり始めて2、3箇月も経ってから、ようやく5ドルの新品のリボンを注文し、購入後十年というプリンタの寿命の残りの期間をこれでもたせようとする人もいる。しかし、現在の最高品質のプリンタ（レーザー、サーマルワックス、ダイディフュージョン）のいずれかを購入すると、いやがおうにも驚きを味わなければならない。トナーや転写シートを交換すると、旧式のドットマトリックスプリンタの価格と変わらない費用がかかってしまうのである。

レーザープリンタのランニングコストが高価になってしまうのは、1ページ印刷するごとに機械の一部がごく少量だが消耗されているためである。有機質の感光ドラム上に印刷イメージが作成されるのだが、印刷のたびにこのドラムが少しずつ減っているのである（ドラムの新素材であるシリコンは、プリンタの耐用期間中はもつことになっているが、今のところシリコンドラムを使っているプリンタは多くない）。コロナ放電器やそのほかの部品も定期的に交換する必要があるだろう。サーマルワックスプリンタの場合、機械は消耗しないが、インクを大量に消費する。その量は、用紙の1ページごとに最高モノクロの4ページ分にもなる。

これらの消耗品の費用をランニングコストとして算出すれば、レーザープリンタの場合は、1ページにつき2セントから5セント（用紙代は含めない）の計算になり、サーマルワックスプリンタでは、1ページにつき5ドルにもなる。

このため、プリンタの寿命が終わるまでに、消耗品にかかった費用がプリンタそのものに払った金額をすぐに越えてしまうことがあり得る。しかしそれより重要なのは、消耗品にかかる費用がプリンタの機種によって異なるということである。つまり、各々の代表的なプリンタを考えてみると、寿命が終わるまでに費やされる消耗品の費用の違いが、購入価格の違いをはるかに超えてしまうケースもあり得るのだ。

サーマルワックスプリンタはレーザープリンタよりもかなり高価なため、両者の消耗品の費用の違いはそれほど劇的に購入価格に影響を及ぼさない。それでも、消耗品が高価でない機種を選択することで、1ページにつき1ドル以上節約することが可能である。

消耗品の交換や補充が無駄に見えるプリンタもある。たとえば、Hewlett－PackardのLaserJetは、ドラムとトナーが一体になったカートリッジを使用するように設計されているため、トナーがなくなった場合、このカートリッジ全体を単品として、ドラムまで一緒に交換することになる。ほかのレーザープリンタは、トナーやドラム、ときには印字を用紙に定着させる機構も、それぞれ個別に交換できる設計となっている。

後者のタイプのプリンタを製造するメーカー側は、ドラムの寿命はトナーの寿命よりも長く、もっと多くの印刷に使用できるので、寿命前にドラムを捨てるのは不経済であると主張している。他方、一体型のカートリッジを使用しているメーカー側では、ドラムの寿命はトナーに合わせて作っているとする。

驚くべきことには、費用という観点からは、どちらの方法でも違いがないように思われることだ（ただし、エコロジーという立場からはそれぞれの交換の仕組みはもっと大きな意味を持ってくる）。

カートリッジの詰め替え

レーザープリンタの消耗品にかかる高い費用をなんとか回避する方法の1つは、トナーカートリッ

ジをカートリッジはそのままにして、中身のトナーだけ詰め替えることである。しかし、ほとんどのメーカーはこれを勧めていない。メーカーとしてはこの方法ではトナーの品質を管理できないため、ほかの会社の詰め替え用トナーが自社の機構に確実に適合することは保証できないからである。さらに、トナーの販売から得る利益を失うというのも理由の1つだ。

しかし、いずれにしても一番の問題は品質である。たとえば、HPのLaserJet IIIシリーズにおける高画質化技術では、ほかのプリンタが使っているトナーに比べて、粒子のかなり細かいトナーが必要である。単に目で見るだけではトナーの違いを見分けることはできないが、しみだらけのくすんだページが次々とプリンタから流れ出てくれば、その違いは自ずと明らかになる。カートリッジを詰め替える場合には、必ずオリジナルのトナーと同じ品質を得られるものでなければならない。

さらに注意しなければならないのは、一体型のカートリッジでは、トナーだけを補充すると、カートリッジ内のドラムや帯電線はそのまま使用しなければならないということだ。ドラムや帯電線は実際には耐用期間に指定されている以上の寿命を持つように作られてはいるが、耐用期間以上といっても、その2倍ということはない。したがって、カートリッジのトナーのみ補充すれば、ドラムは擦り切れたままで使用することになるのである。

しかし、これに対して、トナーを補充したカートリッジでも良好な印刷結果が得られたと報告している人たちがいるのは事実である。トナーの詰め替えで満足する結果が得られるかどうかは、詰め替え作業の質だけでなく、個人的な基準にも依存するのである。

用紙

様々なプリンタ技術のランニングコストを比較する場合、特殊な用紙が必要な機種は要注意である。ほとんどの場合、こうしたプリンタの専用用紙は、そのプリンタのメーカーからしか入手できないため、価格はメーカーが指定するままである。さらにその値段は、用紙の供給がそのメーカーに統制されているということと、製法が特殊であるという理由から、普通用紙を事務用品の卸売店で購入するよりもかなり高くなっている。

たしかに、プリンタに入る用紙ならどんな用紙でも装填することは可能だが、一部のプリンタ、特にサーマルプリンタでは、間違った用紙を使用すると、イメージはまったく印刷されないし、ほとんどのプリンタでは、標準以下のイメージ出力となる。たとえば、インクジェットによる印刷イメージは、不適切な用紙では紙がインクを吸収するためぼやけてしまい、カラーの鮮明度は悪くなる。それ以外の影響はもっと微妙なものだろう。レーザープリンタでは不適切な用紙を使うと、給紙が乱れ、紙詰まりを起こしてしまったり、黒印刷がまだらになったり、灰色になることがある。レーザープリンタの中には、プリンタが正常に動作するための用紙の湿気含有量に対して、特定の要件のあるものもある。

推奨されていない用紙を使用したければ、実際にやってみて、そこから得た結果を自分で評価するに限る。

16.9　プリンタの共有

2台プリンタがあることが、必ずしも1台しかない場合より良いとは限らない。たとえば2台の方が費用がかかるというのがその理由だ。ビジネスの多くの場面では、2台以上のコンピュータで1台のプリンタを共用することにより、2台目にかかる費用を節約することが可能である。たしかに四六時中印刷している人はいないのだから、この方法は有効だ。実際、そんなにしょっちゅう印刷ばかりしている人には、印刷する価値のあるものなど作り出す時間は残っていないはずである。通

常のオフィスワークではプリンタに遊び時間があるので、その時間にプリンタを誰かほかの人の使用に供することが可能である。

プリンタを共用する方法には、ソフトウェアだけを使うもの、ハードウェアの共用をベースにしたものなど、いくつかの選択肢がある。

実際に払う費用が最も安いのは、簡単な A／B **切り替え器**である。名前からもわかるように、この装置は、多極スイッチを組み込んだ箱のようなもので、スイッチを切り換えるだけで、プリンタケーブルの 25 個ある接点を 1 つのパーソナルコンピュータからほかのパーソナルコンピュータへとつなぎ換えることができる。たとえば、A の位置で自分のコンピュータがプリンタへ接続されていれば、B の位置で同僚のパーソナルコンピュータを接続することができるわけだ。これはスイッチという利器を使って、プリンタケーブルをつなぎ換えるのとまったく同じことをやっているのである。

本物の共用システムになると、自動操作によって、切り替えはこれよりも大幅に便利になる。様々な技術の中で概して一番費用のかからない方法が、**ソフトウェアプリンタシェアリング**である。ほとんどの**ゼロスロット LAN** にはプリンタを共用するための機能があり、シリアルポートを使用したネットワークとして数台のパーソナルコンピュータを接続することができる。この場合にかかる費用といえば、ソフトウェア代と、システムを接続するケーブル代（比較的安価）だけである。

しかし、これにはお金以外のコストもある。プリンタサーバーの性能に影響が出てしまうのだ。プリンタに接続されたパーソナルコンピュータは、印刷ジョブをスプールし、プリンタを制御するために、どうしてもいくばくかの時間をさかなければならないため、結果として性能がかなり損なわれるのである。オフィスのコーヒーメーカーのコーヒーのでき具合いを調べることが仕事のほとんどだという人でもない限り、このような性能のパーソナルコンピュータを、自分の毎日の仕事に使いたいと思う人は職場にいそうもない。

ハードウェアプリンタシェアリングは、スプーリング作業用としてソフトウェアの代わりに専用ボックスを使用することによって、この問題を回避したものである。各パーソナルコンピュータを共用ボックスに接続し、そのボックスを直接プリンタに接続する。このシステムの短所は、単純にハードウェアの追加に費用がかかるということだけである。

プリンタの共用装置はすべて同じというわけではない。利用できるメモリの容量やアービトレーション（調停）システムに違いがある。メモリは、1 台のパーソナルコンピュータが印刷をしている最中でも、ほかのパーソナルコンピュータもプリンタを駆動しているかのごとく印刷の命令を送り続けられるように、印刷ジョブをバッファするために使用される。これがあれば、プリンタのアクセスを待ってプログラムが無駄な時間を費やすことがない。一般に、メモリはたくさんあればあるほど良いが、オフィスを Windows や UNIX や、そのほかプリントスプーラが組み込まれたソフトウェア環境で標準化する場合は、たくさんのメモリは必要ないだろう。現在のようなグラフィック印刷を行うには少なくとも 1M バイトは欲しい。

アービトレーションシステムは、2 台以上のパーソナルコンピュータが同時に印刷を開始しようとしているときに、どのパーソナルコンピュータが優先権を持っているかを決定するものである。最もすぐれた共用システムになると、必要性の度合いと会社の組織構成に基づいて、優先権を各パーソナルコンピュータに割り当てることができる。より柔軟性のある共用装置を使用した印刷システム全体を管理するには、制御ソフトを使用した方がよいだろう。

また、共用装置は、利用できるポートの数や種類についても違いがある。実際には、接続したいパーソナルコンピュータの数だけポートが必要となる。パーソナルコンピュータの設置場所が、共用装置から少し距離がある（普通 10～25 フィート以上）場合には、簡単に接続できるようにシリアルポート以外にパラレルポートが必要になる。

プリンタ共用装置の中には、プリンタの I／O スロットに接続して使用するものがある。この装置では、サイズ上の制約から使用できるポートの数が制限されるが、同時にケースや電源が余分に要

らないため、費用も最小限に抑えられる。少数ではあるが、複数の入力ポートやネットワーク用入力ポートを内蔵して、共用が可能な設計になっているプリンタもある。

レーザープリンタやサーマルワックスプリンタのように、プリンタが高価になると、共用する方が、各人用に別々のプリンタを購入するよりも経済的である。高いプリンタが1日の大半を遊んでいるのに、ほかの人には安いプリンタを与えて苦労させるよりも賢明な選択であろう。

プリンタの購入

お菓子屋にいる子供に何が欲しいかと尋ねれば、どの子もずばり全部と答えるだろう。そして、何百とあるプリンタの中から1つを選ばなければならないとき、だれもがその子供と同じような気持ちになるだろう。どのプリンタにも速度、カラー、印字の品質、価格など捨て難い魅力があるのだ。選択肢をしぼりこんで、いよいよ最適な1つを選ぶときには、眼をつぶって指を差して決めてしまいたい誘惑にかられるだろう。

実際は、自分のニーズと自分が買える範囲のプリンタの能力とを整然と検討すれば、正しい選択をすることは難しいことではない。以下に述べるプリンタ購入にあたっての検討事項は、適切なプリンタと適切な販売業者を選択する助けとなろう。

互換性

まず最初に、自分が持っているソフトウェアと互換性のあるプリンタのリストを作成すること。安価なプリンタには心をそそられるが、自分のソフトで動かなければ何の価値もない。買物を始める前に、少なくとも使用を検討すべきプリンタのリストを作成しておくとよい。

最もよく使用するソフトウェアの説明書を見て、そのソフトがサポートしているプリンタのリストを確認する。資料が見つからなければ、プログラムのインストール作業をやって、選択しなければならないプリンタのリストをコピーすればよい。購入時には、購入を考えているプリンタがそのリストに載っているか、あるいはリストに載っているプリンタをエミュレートできるかという点を確認すること。

速度

購入しようとしているプリンタの速度が、自分の要求を満たしているかを確認する必要がある。ほかの条件がすべて同じであれば、まさに仕事が速いという点で、高速なもののほうが望ましい。プリンタの速度定格は、嫌になるほど遅いものから我慢できる程度（未だかつて十分な速度のプリンタはない）のものまで広範であるが、技術や価格を一定の範囲に限定すると、競合する機種にはこれといった差がなくなっていくことが分かるだろう。それでも、速度は大きな決定要素である。

メーカーの設定している速度定格は、試験によるものではなく、論理的に決定されたものだということを覚えておいてほしい。レーザープリンタやそのほかのページプリンタの仕様となっている〝テキストスピード〟（1分当たりのページ数）は、おおむね現実に即したものだが、グラフィックスピードになると実際はかなり遅くなる。ドットマトリックスプリンタなどのキャラクタプリンタやラインプリンタは、通常のページ書式で実際に印刷の作業を行うと、実際にはメーカーの数字よりも25～50%遅いことが多い。

用紙の処理

ほとんどのプリンタ（ラベル作成といった特定用途に特化したものは除く）は、標準サイズの8.5×11インチの用紙を、また、スプロケットフィード用の用紙を使用しているプリンタの場合は、9.5×11インチの用紙を使用するようになっている。これらとは異なるサイズの書類を印刷する必要がある場合は、購入を検討しているプリンタがそのサイズの用紙を扱えるかということを確かめる必要がある。いずれのプリンタでも使用できる用紙のサイズには上限がある。トラクタフィードのプリンタの多くは、扱える用紙幅の最小サイズにも制限がある。同様に、レーザープリンタにも使用する用紙に特定のサイズ規定がある。11×14インチのプリントアウトが必要であれば、ワイドキャリジのプリンタが必要になる。

用途によっては、普通の紙以外にも、様々な書

式の専用用紙、封筒、OHP用のアセテートフィルムなどの印刷媒体が必要な場合が出てくる。したがって、検討しているプリンタが、印刷の媒体として自分が使用したいものを扱えるか確認すること。

また、プリンタが扱える用紙の量も重要なポイントである。インパクトプリンタの隣に座ってうるさい音を聞いたり、プリンタの子守りなどはしなくてすむにこしたことはない。

トラクタフィードプリンタの場合は、通常、挿入できる大きさの用紙であれば分量には制限はないが、購入したときにトラクタが実際に付いてくるかは確認しなければならない。古いタイプではトラクタ部分はオプションのものがあるからだ。

ビンフィード(カットシートフィーダ)、レーザー、サーマルワックス、ダイディフュージョン、これらのプリンタは、すべて単票の用紙を使用するものである。用紙をプリンタに供給したり、プリンタから用紙を取り除いたりしなければならなくなるまでに、どのくらいの時間がかかるかを判断するのに、これらのプリンタの用紙補給用の容器(トレイ、カセット)と、印刷された用紙を受ける容器の、容量および処理速度を検討する必要がある。

消耗品

購入時に必要な消耗品が付属されているか確認する。ほとんどのプリンタには、限られた量ではあるが、消耗品(リボンや専用用紙)が付いてくるので、購入後すぐに試し印刷はできる。普通の用紙を使用するプリンタについては、ほとんどの場合、消耗品の追加購入を考える必要が出てくるのは、数百から数千ページ印刷してからのことになるだろう。

ただし、レーザープリンタの場合は状況は異なる。販売業者の中には、必要なトナーカートリッジをオプションとすることで、レーザープリンタ本体の実売価格を下げているところもあるからだ。単に試し印刷をするだけでも、すぐに100ドルのトナーカートリッジを購入しなければならない。

新しいプリンタを注文するときは、カートリッジやそのほか必要な消耗品も一緒に入手できるように手配する。レーザープリンタがカートリッジなしで売り出されている場合には、値段を比較する際にカートリッジ代を加えることを忘れてはいけない。

ケーブル

ケーブルの用意を忘れてはいけない。プリンタをパーソナルコンピュータに接続するにはケーブルが必要である。ごく少数だが、IBMの規格に適合しない特殊なケーブル規格を持ったプリンタもある(旧式のものか、生産中止になっている機種がほとんど)。購入するプリンタに、IBM規格のプリンタケーブルが適合するかどうかを確認しなければならない。もし適合しなければ、販売業者に依頼してプリンタに合うケーブルを取り寄せる必要がある。

たとえ購入するプリンタが、IBM規格のコネクタ(片側にオスの25ピンDsubコネクタ、反対側にオスのセントロニクス対応36ピンコネクタが付いたケーブル)を使用していても、プリンタと一緒にそのケーブルを送ってもらうのを忘れてはならない。新しいプリンタがあっても、それをパーソナルコンピュータに接続するケーブルがなくては話にならない。

サポート

これからプリンタを購入しようとしている人は、サポート体制を確認すること。購入後、その新しいプリンタで二重下線付け、ボールドフェイス、イタリック体を印字する必要が出きた場合に、どうすればワードプロセッサをうまく使いこなせるかわからないこともあるだろう。そういうときに、助けを求められるサポートが必要である。新しく、まだまだ珍しいプリンタの技術については、おそらく販売業者でも購入する側と変わらない程度の経験や知識しかないこともあるだろう。したがって、プリンタメーカーの電話によるサポートサービスが一番望ましい。その場合は、〝フリーダイヤル〟がベストである(利用者の立場からは、50ドル分の仕事でプリンタを動かすのに20ドルの電話代をかけるのはばかばかしい)。プリンタ販売業者の中には、モデム経由で質問を受け付けるBBSを開設しいているところもある。

また、販売業者のサービス方針を調べておいた方がよい。プリンタはエレクトロメカニカル(電子機械式)装置である。ということは、電子部品と機械部品の双方がともに故障する可能性があるということだ。したがって、プリンタはほかのどのパーソナルコンピュータ周辺機器よりも、アフターサービスが重要である。保証期間中並びに保証が切れた後に、どこで、どのようにすればプリンタのアフターサービスが受けられるかを、購入前に確認しておく必要がある。プリンタの修理体制があまり整備されていない販売業者も多数あるので注意すること。

一部のメーカーは、故障を修理するサービス拠点(ときにはタイプライタ販売店のこともある)を各地に置いているので、その場合はわざわざプリンタをメーカーまで送り返す必要がない。高価なプリンタなら、現場での修理が受けられて当然である。

保証

どのプリンタにも保証書が付いているが、すべての保証書がすべてを保証しているわけではないので、保証書の条件を確認すること。ユーザ側が取り替える部品は保証対象から除外している保証書もある。どのメーカーにしても、消耗品のリボンまで保証する必要はないので、そういうものについては合理的だが、プリントヘッドの方は保証の対象とされるべきである。ほかの周辺機器と違って、プリンタには、ドライブベルトやプリントヘッドなど、摩耗する部品が組み込まれていることに注意する。

販売業者とメーカーの双方が保証書を出すことがあるが、在庫処分のような安売り品の場合は、後者の保証書はついてこない場合もある。誰がプリンタを売るにせよ、その売主がその製品を保証していることを確認すべきである。

16.10　プロッタ

細かい曲線模様を織り込んだペーズリー柄の壁紙を登っているカメレオンの色が、次々と変化していくように、技術が急速に変化していく世界にあって、変化に動じないプロッタの頑固さは、グレートストーンフェースや小舅の悪癖のようだ。10年も経たないうちに、マイクロプロセッサは20倍の速度で疾走するに至り、プリンタはハンマーからレーザーへと変わり、ハードディスクは5Mバイトから500Mバイトへと成長した。これに対してプロッタはというと、タイムトンネルに足を踏み入れ、10年逆戻りをしているような状態である。たとえば、現在の最新のデスクトッププロッタを10年前の人に見せたとしても、10年前の誰一人として、これを10年先の世界からタイムトラベルして持ってきたとは信じないだろう。プロッタは今日も昨日も同じような外観をして、同じように動作し、ほとんど同じ印刷結果を産み出しているのである。

だが、プロッタの話はこれで終わるわけではない。電子工学的にも根本原理においても微妙な変化はあるのだ。しかし重要なのは、各方面から現われる新しい競争相手の一斉攻撃にもかかわらず、現在のデスクトッププロッタは昔と変わらず今も同じように便利だということである。

現在のデスクトッププロッタは、パーソナルコンピュータに連結できるハードコピー作成装置の中で、最も解像度が高く、一般に1／1000インチでアドレス可能である。この高い解像度により、ぎざぎざした跡を残さずになだらかな曲線や斜線を引くことができる。グラフィック出力装置としてこれしかなくても、その役割を十分果たすだけの速度があり、ドラフトしか必要ない場合は、大型プロッタの負荷を軽減するためにワークステーションに接続する装置としても、十分に安いものである。

この2、3年の間にデスクトッププロッタに加え

られた巧みな変更によって、この装置は入手が容易になり、遣い勝手が一層良くなり、ソフトウェアとの互換性も高まった。プロッタの働きは昔と変わらず、製図媒体の上を走り回るインクペンの動きを制御しているだけだが、実はプロッタも、そしてそのメーカーも頭がよくなってきているのだ。

現在のプロッタのほとんどは、マイクロプロセッサをベースにしている。ペンを動かす命令を受け取ると、最も頭のよいプロッタは、時間の浪費を最小限に抑えるために、ペンの動程と選択とを最適化して、その命令をできるだけ効率よく処理する。メーカーはこのプロッタを制御する言語があることを知り、標準言語として採用した。

現在入手できるプロッタのほとんどは、Hewrett－Packardのプロッタ言語である「HP－GL」のコマンドを認識するように設計されている。さらにメーカーは、パーソナルコンピュータや最も広く使われているソフトウェアを使って、プロッタを動かすためのセットアップの詳細を文書にして提供している。ケーブルの正しい接続の仕方や正しいセットアップパラメータを見つけるために、もはや夜ふかしをする必要はないのである。

プロッタの設計

プロッタ技術そのものは変化がなく、2つの系統に分類される。1つは平面プロッタ、すなわち、X－Yプロッタであり、もうひとつはローラーベッドプロッタ、すなわち、ドラム式プロッタである。両者の違いは何が動くのかという点である。平面プロッタは、魔法の手のようなものが動く。製図をする平面(〝ベッド〟または〝フラットベッド〟)に製図用紙を固定すると、ちょうど手で絵を描くのと同じように、ペンが用紙上を二次元(〝X軸〟と〝Y軸〟)に移動する。

ローラーベッドプロッタは、ペンの移動を一次元に、すなわち、製図媒体の水平方向に限定し、用紙の方が垂直の動きを担当するものである。つまり、たとえばペンの動きに対して垂直の線を引く場合は、ペンを固定したまま用紙の方が動く。ベッドの〝ローラー〟はシリンダまたはドラムで、用紙の下で回転して用紙を動かしている。

どちらの技術も一方に完全に優っているわけではない。精度が問題になるときは、平面式の設計のほうが安価という点で優位となる。精度の高いフラットベッドを組み立てる方が基本的には費用がかからない。これは、制御が必要なのは1つの機構、すなわち、ペンを移動させる機構だけだからである。ローラーベッド式の場合は、1つはペン用、もう1つは用紙用というように、根本的に異なる別個の2つのシステムを調整して動作させる必要がある。このように複雑さが増せばその分価格は上昇する。ただし、価格を解像度に優先させた場合、平面プロッタは安価に押さえるために、ミリインチの精度を犠牲にしていることがある。

他方、ローラーベッドプロッタにはスピード面での強みがある。機械式で大きく動くアームやペンキャリッジに比べて用紙は非常に軽い。ニュートンの第2法則(大学1年生の物理学の復習が必要な人のために：F＝ma、力は質量と加速度の積に等しい)によれば、物体は軽い方が加速するための仕事量は少なくてすむ。したがって、高速なプロッタほどローラーベッド式を採用しているのは当然のことである。

平面プロッタの長所は、事実上どんなサイズの製図用紙でも使用できることである。ローラーベッドプロッタ(ドラムプロッタ)の場合はほとんど、製図用紙の横幅の選択肢が制限されてしまう。用紙を両端だけつかみ、しかも設計上の理由からペーパーグリッパ間の距離が固定されているからである。その固定距離よりも製図用紙の幅がせまいと、用紙をきちんとプロッタに留めることができなくなる。これに対し、このプロッタのメーカーの1つであるHitachiからは、はがきサイズ以上であればどんな横幅の用紙でもつかめる全幅対応のドラムを使ったローラーベッドプロッタが販売されている。

しかし、平面プロッタを使えば、最小サイズの限界にぶつかることはない。つまるところ、フラットベッドは自動アーム付きの製図テーブルであり、ソフトウェアの適切な命令があれば、テーブルの上にのるものならどんなサイズの用紙にでも図が描けるのである。

プロッタには、机の上に置いてちょうどよい大きさのものから、壁紙よりも大きな用紙を使う機

種まで様々ある。最も一般的なのは、使用する最大用紙サイズがANSI(米国規格協会)Bサイズ、すなわち、11×17インチの機種である。

製図テーブルの場合と同様に、平面プロッタは用紙を製図面にしっかりと留める何らかの手段が必要である。普通の製図用テープでも間に合うかもしれないが、エレガントな解決法とはいえない。プロッタメーカーはこの粘着テープの代わりになるいくつかの方法を採用してきた。製図用紙をおさえておくのに、静電気の魔術を利用しているメーカーもあり、この固定方法は2、3の媒体を除けばすべてに有効である。また、あるメーカーは電気に代えて磁石を使って製図用紙をおさえているが、これは薄い鉄板以外であればどんな媒体にも使える方法である。

品質の問題

安価なプロッタと高価なプロッタとの最も大きな違いは精度である。高性能なプロッタとは解像度が高いか、ステップサイズが小さいものである。

ステップサイズは多くの要素によって制限される。最終的な限界はプロッタの機構上の解像度、つまり、ペンを動かすステップモータの避けられない動きの粗さの制約のもとで、ハードウェアが成しうる最小の細かな動きである。すべてではないがほとんどの場合、ステップサイズはアドレス可能度によっても制限される。HP−GLがプロッタペンを動かせる最小単位は0.001(1000分の1)インチである。最も安い価格帯のプロッタの機構上の解像度は、HP−GLのアドレス限界よりも粗いことが多く、この場合、機構そのものが品質を制限することになる。ステップサイズが細かくなればなるほど、プロッタはそれだけきれいな曲線を描くことができる。1ステップごとにドットを直角に打ち付けながら、斜線や曲線を描いていくのだが、HP−GLの0.001インチという解像度でこれを行うと、1ステップはレーザープリンタのドットサイズの3分の1以下になり、非常に微細で、実際には目に見えない大きさである。しかし、安価なプロッタになると、各ステップがはっきりと見え、その結果〝ギザギザ〟と呼ばれる状態の線になる。

プロッタのカラー

また、デスクトッププロッタは、自動的に選択できるペンの数にも違いがある。カラーの表現能力とプロッタの使えるペンの数との間には、おおよその相対関係があるが、ペンが1本しか使えない装置でも、多色の図面を作成することは可能である。ほとんどのプロッタでは、作業を休止してペンを交換できるので、出力する色を手動で制御できるのだ。いいかえれば、ペンが4本のプロッタは必ずしも4色に限定されるわではないということになる。取り換えられるペンの色の数だけ色を変えて図面が作成できるわけだ。いくつペンを使うかは便宜上の問題にすぎない。

しかし、多くのペンが使えれば、プロッタに自動彩色させることができる。これができると、作図を開始してしまえば、後はコーヒーポットを空にするまでおしゃべりをして時間を過ごすこともできる。プロッタを監視し、ペンを交換する時間を待っている必要はない。

単に数だけでなく、プロッタに装着できるペンの種類も選択もできる。どれを使うかは作成しようとしている出力の種類による。紙とフィルムの図面であれば、異なる種類のインク、それに恐らく異なる種類のペンも必要だろう。インクを補充できるペンを発売しているメーカーもあり、これらを使えば、インクが切れたときにも新品購入のためにばかにならない額を出費せずに、製図ペンに要求される高い品質(より細く、かつ線の太さを一定に保つもの)が再び手に入れられる。

ペンが選択できる立場にあれば、その選択の幅を最大にするために、最も広く使用されているものを選びたいと思うだろう。プロッタペンで標準タイプに最も近いのは、Hewlett−Packardのプロッタに採用されており、ほかのメーカー数社もそれに準拠している設計である。ほかの製品と同様に、1機種専用のペンだと、選択の幅が制限され、高い代金を支払わなければならない場合も出てくる。

インターフェイス

プロッタにとって互換性は大きな問題である。伝統的にプロッタメーカーはこの製品をプロ向け

のツールとみなしてきた。これは、プロッタはひとりよがりなエンジニアには相応の報いを受けさせるような設計になっていたということである。このため、最低でも、自分のプリンタに合った特別なケーブルを作ってもらう必要があった。

しかし、そうした欲求不満の大方は過去のものになっている。現在の標準的なプロッタには、セントロニクス仕様のパラレルポートが付いており、ドットマトリックスプリンタと同様に簡単に接続することができる。

今なおRS−232のシリアルコネクションに依存している機種がいくつかあるが、そのほかの機種ではこのコネクタはオプションになっている(本書で検討しているプロッタはすべて、実際の性能を通信に関する事項から隔離して測定できるように、9,600bpsのシリアル転送を使用してテストした)。シリアル接続をしようというのであれば、その特定のプロッタの要件に合わせて作ったプロッタメーカー独自のシリアルケーブルを購入すべきである。50ドル程度払うだけで、シリアル接続をすれば、通常行き着く先である、抗鬱剤ソラジンの服用や拘束服の着用をせずに済むのである。

すでにRS−232のシリアル接続を使用している周辺機器を持っている人以外は、いくつかのプロッタで使用可能になっているIEEE−488コネクタ(汎用インターフェイスバス：GPIB、または、Hewlett−Packardインターフェイスバス：HP−IBという名称でも知られている)の費用のことや、面倒な作業のことや、それを使うのに必要な特別なソフトウェアドライバのことなどに煩わされたくないだろう。

制御言語

今夜就寝前のお祈りをするときは、HP−GLの奇跡を与えてくれた人に感謝すべきだ。プロッタメーカーのほとんどが、自社の製品の制御用にHewrett−Packardグラフィック言語(HP−GL)を採用しているため、米国ではHP−GLが標準言語となっている(HP−GLは世界中で使用されているが、GP−GLの方が広く使用されている市場も一部ある)。HP−GLに代わるものとしては、Houston Instrumentが開発したデジタルマイクロプロセッサプロッタ言語(DMPL)がある。この言語には、内蔵フォント、単一コマンドで線で囲まれた領域を塗りつぶす機能、プロッタを円滑に動かすアルゴリズムの内蔵といった、HP−GLにはない機能がいくつか組み込まれている。そのほかのプロッタは独自の言語を使用しており、それをサポートするプログラムを使えば、しばしばHP−GLよりも速く動くこともある。しかし、HP−GLを理解するプロッタは、プロッタ出力用のプログラムであれば、まずどんなプログラムででも動作する点で有効である。

性能

プリンタと同様に、ほとんどのプロッタは製図命令を一時的に記憶しておくためのRAMを内蔵している。このバッファメモリは、コンピュータを製図作業から解放する助けとなる。容量の大きなバッファであれば、パーソナルコンピュータから転送した命令のすべて、あるいはそのほとんどを吸収し、コンピュータには何か別の作業をやらせながら、その間にプロッタがそれらの命令を処理することが可能となる。プロッタの中にはさらにバッファを利用して、製図の命令の先を見て、たとえば赤色のペンに切り換える前にまず黒色の線をすべて描くというように、ペンの移動やペンの切り換えを最小限に押さえる計算、つまり最適化を行う機種もある。こうした最適化により、図面作成に必要な時間をかなり削減することが可能となる。また、バッファに記憶させておけば、パーソナルコンピュータを製図作業に縛りつけておかなくても、図面のコピーを何枚も作成することもできる。プロッタの速度は機種により劇的な違いとなって現れることがある。実際、製図時間が他機種の半分というプロッタさえある。

最低価格帯の機種を除き、出力の品質は各プロッタとも大きな差異はない。ただし、テキスト表現については、プロッタのHP−GLの解釈の仕方と内部の文字セットの特性に依存する。

プロッタの代用品

言葉、音楽、お金が電子工学によって電信線の中を光速で疾走する今日にあって、ペンを用紙に

あてて線を引くというのは、暖炉で火を燃やしたり、代金を現金を支払ったりするのと同じように時代遅れのように思われる。ほかの技術を使用すれば、もっと高速に、色彩も豊富に、そして安い価格で製図作業を行えるのである。それでもなお、プロッタはいくつかの理由で生き残っている。

高速のグラフィックス出力ということになると、レーザープリンタに匹敵するものはない。典型的なグラフィックページであれば、1枚出力するのに1分もかからないだろう。これに対しプロッタは、同じ作業を5分も10分もかけてもがいている。ただし、レーザープリンタのほとんどは（しかも値段が手頃な機種はすべて）単色で、印刷媒体はANSIのAサイズ（8.5×11インチ）以下のものに限定されている。ところがプロッタは、ペンにある色であればどんな色でも使用することができ、しかも（手動によるペンの交換を厭わない限り）ほぼ無制限に色を組み合わせることもできる。さらに、デスクトッププロッタは最も小型の機種でも最大Bサイズまでの用紙を処理できる。その上、製図に使用する媒体をほとんど選ばない。適切なペンを選んでやるだけで、後は紙であろうと、ベラム（子牛の皮紙）であろうと、ベッドに置けるものであれば何にでも喜んでインクで描いてくれるのである。

カラーのインクジェットプリンタとの比較についても、ほぼ同じことがいえる。低価格帯のインクジェットプリンタは、サイズの大きな用紙は処理できない。Bサイズの用紙を受け付ける機種になると、多くの場合、同等のプロッタよりも価格が高い。しかし、インクジェットプリンタの場合、インクを用紙上で混ぜ合わせて、表現できる色の範囲を拡大することができる。人間が直接手で調整できるわけではないが、1つの色合いからほかの色合いへと微妙に変化させることにより、一層自然な風合いを表現することもできるのである。

精度ということになると、プロッタはほとんどすべてのプリンタより優れている。プロッタのほとんどが約1/1000インチのステップで動き、ドットは典型的なレーザープリンタの300dpiより3倍以上の細かさとなっている。この並外れた解像度を曲線を描くのに利用しているので、そこからはギザギザした跡がまったく消え去っている。

しかし、極めて細かい描写ということになると、レーザープリンタの方がリードしている。プロッタは高解像度のおかげで、ほとんど完全なまでになだらかな斜線を描くことができるが、作成可能な最も微小な部分は、そのペンが描く線の幅に制限されている。一般に、製図用のインクが使用できるペンで最も細いものでも、描ける線の幅は0.3 mmで、これはプロッタの解像度の幅、つまりそのステップサイズの約12倍であり、最も細いレーザープリンタの線の幅の約4倍である。

一方、レーザープリンタやインクジェットによるディジタルドットなどと比べれば（インパクトドットマトリックスプリンタの点描画はいうまでもなく）、プロッタは一様で濃淡のないカラーを描くことができる。プロッタのカラーは混ざりけがなく、一様な色調である。

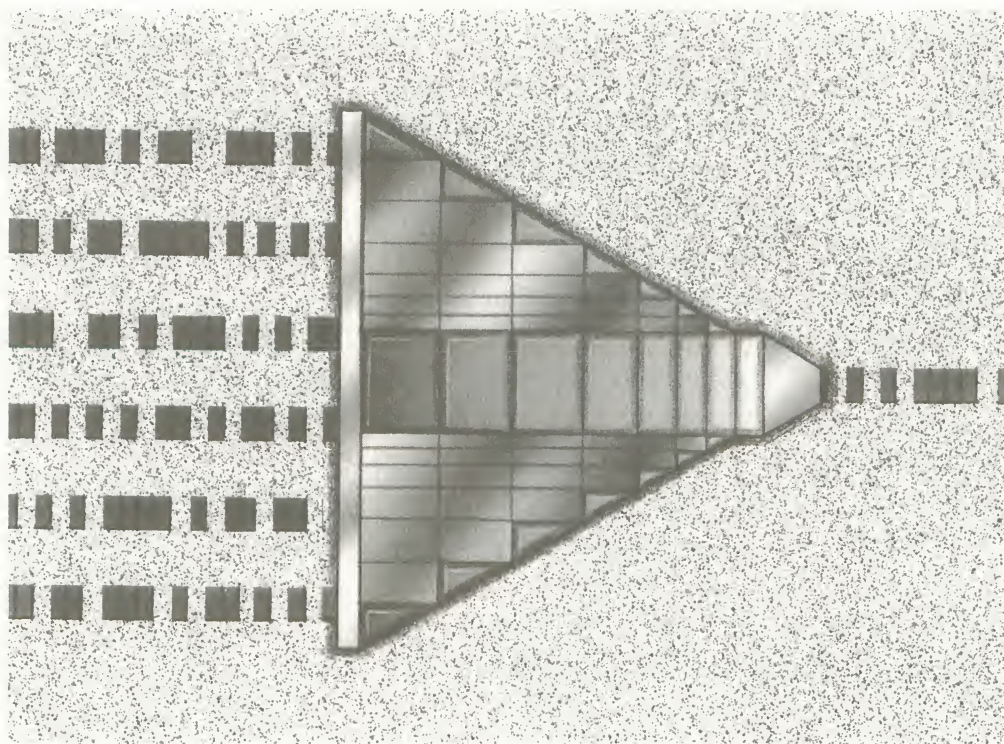
プリンタとプロッタでは描画技術が異なるため、両者の速度を直接比較するのは不可能である。プリンタはラスタに基づいた装置だが、プロッタはベクトルを描くものである。したがって、どちらが速いかということは、何を描かせるかによって変わってくる。

プロッタは簡単な図であればきわめて高速に作業を行うことができるが、2、3本の線では済まない複雑なイメージになると、時間がかかるようになる。他方、ドットアドレスのプリンタ（PostScriptのような言語を使用しない機種）は、簡単な図でも複雑な図でも、費やす時間はほぼ同じである。これは、1ページにどれだけの行を描かねばならないとしても、行数には関係なく、ページ全体を走査しなければならないためである（PostScriptプリンタの場合は、転送時間と処理時間を加えなければならないため、複雑な図になればなるほど若干時間も長くなる）。

最終的には次のようにまとめられるだろう。プロッタは値段は手頃で、カラーは綺麗で、精度は高いが、速度が遅い。手の出せる価格のレーザープリンタの場合、速度はプロッタよりも速いが、プロッタのカラー表現能力や1/1000インチといった解像度には及ばない。カラーのレーザープリンタは速度は速いが、値段が高く、鮮明度もプロッ

タほどではない。カラーのインクジェットプリンタでは、様々な色合いが表現でき、速度もほどほど、価格もプロッタと似たりよったりであるが、なだらかで、詳細な描画を必要とする図面を作成する能力に欠ける。アプリケーションの種類によっては、プロッタが最も満足できる結果をもたらすことに変わりはないようだ。

第17章

シリアルポート

シリアルポートは、コンピュータ通信の最大公約数的存在である。最も初歩的なパーソナルコンピュータや周辺装置でさえ、シリアル接続を装備している。ただし、シリアル通信は素晴らしいものであると同時に怪物でもある。大半の製品は唯一の業界規格に従っており、これから少しでもずれると、強情なシリアルポートを動作させるために不眠不休で格闘しなければならなくなる。この混乱を避けるためには、シリアルポートの動作方法、およびその信号の意味を理解することがポイントになる。

一般に、パーソナルコンピュータの性質は、ゴシップがあっという間に広まる世界に似ている。この世界では、パーソナルコンピュータは、話すことがたくさんあるのに話す時間がなくて、話せずに残った言葉で今にも頭が破裂しそうな、おしゃべりな隣人のようなものだ。話せずに残った言葉はすぐに蓄積してしまう。一般のパーソナルコンピュータは毎秒数百万バイトの速度でデータを処理できるが、外部世界に対して持っている唯一の本格的な汎用双方向アクセスは、毎秒数千バイトの速度でデータを交換することで精一杯のシリアルポートでしかない。長年、初期のPCからPS／2の最初のリリースに至るまで、標準のシリアルポートは、IBMがパーソナルコンピュータに対して公式に認可した唯一の双方向通信チャネルであった。現在でも、シリアルポートが唯一の汎用通信チャネルである。

このシリアルポートに対して、IBMが公式に使っている用語は**非同期データ通信ポート**であるが、しばしばこれは**非同期ポート**または**通信ポート**と縮めた形で使われている。さらに、パーソナルコンピュータ業界に受け入れられている各種のシリアル接続が、「RS−232C」と呼ばれる規格（米国電子工業会EIAが策定した規格）で動作するため、一般的なシリアルポートはしばしば**RS−232ポート**として仕様書の中に記述されている。

名前はなんであれ、IBMのすべてのシリアルポートは、少なくとも機能的には同じである。シリアルポートは、コンピュータがデータバスを介して交換する8ビット、16ビットまたは32ビットのパラレルビットを横向きに並べる。つまり、デジタルパルスの側面から、1つのファイルをすべてパルスの並びに変換するのである。この形式の通信は、情報の1ビットずつが数珠つなぎになって転送されることから、**シリアル通信**という名前が付けられている。

完全な世界では、単一回路（信号線および接地線の2本のワイヤのみ）が、このシリアル信号をある場所から別の場所に転送するのに必要なすべてである。もちろん、完全な世界には、データを先導し、シリアル伝送の非凡な純粋性を侵そうと狙っている悪魔やエネルギーからデータを保護する妖精や善意が存在する。

しかし、この世界は不幸にも完全な世界ではない。そしてコンピュータの世界もその例外ではない。干渉されやすいシリアルデータが接続を通過するときに、多くの不幸が襲いかかる危険性があるのだ。たとえば、1バイトのデータの中の1ビットが本道をそれて、データが出発時点より小さくなって到着することがある。これはアルコールをアルコール中毒患者に運ばせるようなものだ。このようにしてデータストリームに空きができると、ほかのすべてのビットがずれるため、別の値として認識されることになる。あるいは逆に、電子的な慈愛の精神でもって、子供が仔猫を拾うように、有意の信号がさ迷うビットを身に帯びてしまうと、含蓄深い奇跡が生じたり、通信路全体を揺るがすようなエラーが生じたりして、すべてのビットが悪影響を受ける。いずれの場合であっても結果はエラーの発生である。この初

歩的な形式のシリアル通信では、ビットが１つでも間違うと、これに後続するすべてのビットがエラーになるのである。

信頼性の高いシリアル通信を実現するということは、ビットエラーなどの多くの問題を克服することにほかならない。しかし、いくつかのデジタル技術のおかげで、シリアル通信は、ユーザーとそのパーソナルコンピュータが信頼できるに足る良好な動作が可能になっている。

17.1　同期通信と非同期通信

シリアル通信のビットエラーの発生を回避するために、おもに2つのシリアル伝送方式が採用されている。これらの方式の1つでは、送受信システムは、接続の両端が常に歩調をそろえるように、一種の補助信号を使って同期をとる。送受信ユニット間で同期をとっているクロックによって、ひとつひとつのデータを分ける期間が正確に指定される。ビットが欠落したり余っても、そのビットはストリーム中の予期しない位置に現れるため、速やかに検出することができる。これは、空港に到着するすべてのシャトル便を時間によって特定する仕組みに似ている。この場合、予定外の時間に着陸する航空機は、シャトル便ではないと合理的に想定することができる(シャトル便は到着時間が正確であるものとの仮定による。これはもちろん完全な世界でのみ可能)。時計をチェックするだけで、シャトル便をほかの航空機から区別できるわけだ。コンピュータ通信でこの仕組みを応用すれば、データとノイズとを区別することができる。この同期方式のシリアル伝送は**同期通信**と呼ばれ、おもにメインフレームシステムに採用されている技法である。

この同期方式は、送受信システムが相互の信号同期を失うと停止する。この場合には、データストリームはほとんどノイズになってしまう。

これに代わる方法として、ビットストリームに位置マーカーを付加して、各データビットの追跡を助ける方法がある。たとえば、1つのマーカーを1つのビットに割り当てると、そのビットの位置を表わし、同時に、マーカーの付いていないビットはエラーと見なすことができる。もちろん、このような単純な方式では、伝送するすべての情報ビットに対して2つのデジタル信号(マーカーおよびデータビット)が必要となるため、大変な無駄が伴う。

より現実的なのは、これに妥協を加えたシステムである。マーカーを、各ビットを表わす代わりに、短いビットストリームの先頭を表わすのに使用するのである。その場合、このストリームの中の個別ビットの位置は、一定の区間でタイミングをとることで定義することができる。この方式は同期伝送に似ているが、送受信システムは、マーカー間の短い区間を除けば同期化される必要がない。マーカーの到着によって、受信システムはビット探索および短期タイマの実行を開始する。送受信のタイマが同期からずれるという問題は、マーカーごとにクロックを再始動することによって回避できる。マーカー間の期間を短く維持することによって、タイマが大きくずれる可能性はなくなる。

この短期的にタイミングをとるシステムは、送受信システムが正確に相手と同期をとる必要がないことから、一般に**非同期通信**と呼ばれる。マーカービットによって、それに続く短いデータビットのストリームを区別するために必要な、一時的な同期が行われるのである。大半のパーソナルコンピュータのシリアル通信は、この方式を採用している。ほとんどの非同期方式では、データは1バイト程度の小部分に分割される。これらの塊は**ワード**と呼ばれ、5～8個のデータビットで構成されている。最も広く採用されているワード長は7ビットと8ビットである。これは、7ビットはASCIIコードの大小文字がすべて収容でき、8ビットなら各ワードが正確に1バイトのデータに対応するためである。

ワードの各ビットは、シリアルデータとして、1ビットずつ通信チャネルによって伝送される。慣習的に、ワードは下位のビットから先に送り出される。

これらのデータビットに、**スタートビット**と呼ばれる通常の2倍の長さの特殊なパルスが付加される。これはデータワードの開始を表わすものだ。また、このワードの終了を表わすために、1つ以上のストップビットが付加される。ワードの最終ビットとストップビットの間に、**パリティビット**がデータの完全性のチェックのために挿入される場合がある。このように、データビット、スター

トビット、パリティビット、ストップビットで、1つのデータ**フレーム**が構成される。

パリティビット

シリアル通信では、5種類のパリティビットを利用することができる。その中の2種類が、現実にビットレベルの伝送エラーの検出手段となる。このエラー検出は、データワードのビット数をカウントして、結果が偶数か奇数かを判断するという仕組みで機能する。奇数パリティでは、ワードのビット数が奇数のときに、パリティビットがオン(論理1)に設定される。同様に、偶数パリティでは、ワードのビット数が偶数のときに、パリティビットがオンに設定される。

マークパリティでは、パリティビットは、ワードのビット数に関係なく常にオンとされ、**スペースパリティ**では、パリティビットは常にオフとされる。**パリティなし**は、フレームがパリティビットを含まないことを意味する。この場合、1ビットのデータの完全性を断念する代わりに(ほかの手段によって完全性はチェックできる)、一定数の伝送ビットに多くの情報を押し込むことができるため、効率的な通信を行える。

信号極性

RS－232シリアル信号のすべてのビットは、データライン上に維持されている通常の正電圧に重ねられる負のパルスとして、通信回線に送り出される。つまり、シリアルワードの中にビットが存在すると、連続する正電圧が短い負のパルスによって中断されるのである。

通常の論理方式とは対照的に、RS－232データは逆になっているように見える。この反転には特別な意味はなく、単に慣習的なものに過ぎないが、通信の分野では、すべての人が同一の規格を順守することによって、物事がうまく運ぶのである。

ビット速度

シリアル信号のもう1つの重要な項目に、シリアルデータ列のビットが伝送されるときの速度がある。この標準尺度は驚くほど単純で、1秒に送信されるビット数である。その単位はbps(bit per second)になる。

いくぶん恣意的な理由から、ビット速度は変った増え方をする。通常の最低速度は300 bpsだが、300の約数である50、100、150 bpsの遅い速度も使用できる。これより高速な標準速度は順に倍になるため、600、1,200、2,400、4,800、9,600、19,200bpsとなる。19,200bpsは、PS／2モデル50から80の通常のマイクロプロセッサ制御のシリアルポートに関して、IBMが公式にサポートしている最高速度である。

公式速度がこのように遅いのは、シリアルポートのソフトウェア制御が、システムマイクロプロセッサに負荷をかけるために、低速チップを使用していると、速い伝送速度に対処できないためである。最高速度をすべてのソフトウェアでサポートできるわけではないため、IBMは、高い転送速度を旧式のコンピュータでは認可しないように決めている。

PS／2モデル90および95の発売と同時に、IBMはマイクロプロセッサのオーバヘッドを取り除くことにより、シリアル通信の速度を高める新しい方式のシリアルポート制御を追加した。これらの新機種では、シリアルポートにバスマスタリングDMA制御を利用することができる。この措置によって、これらのシリアル方式の公式速度は38,400bpsまで引き上げられる。

しかし、これらの公式速度の中の最高速度でさえ、大半のパーソナルコンピュータのシリアルハードウェアの限界には遠く及ばない。実際、現在の多くのソフトウェア製品は、すべてのIBM標準シリアルポート独特のハードウェア設計を利用して、最高で115,200bpsに達する速度でデータを送出する。シリアル通信はもっと高速に行うこともできるが(一部のシステムでは1,000,000～1,000,000,000bps)、これまでのIBMシリアルポート設計では、ほとんどのパーソナルコンピュータハードウェアは115,200bpsの速度に制限されている。

17.2 シリアルハードウェア

大半のIBM互換機のシリアルポートの中核にある回路は、パラレルバス信号をシリアルパルス列に変換するという特定の役目を持った特殊なチップである。**汎用非同期送受信器（UART）**と呼ばれるこのチップは、パラレル入力として8本のデータラインを受け取り、完全に構造化されたシリアル出力を提供する。名前からわかるように、UARTは双方向、つまり送信と受信の両方で動作するように設計されている。1つのチップで、通信回線のシリアル信号を、パーソナルコンピュータが望むパラレル信号に、反対にパラレル信号をシリアル信号に変換することができるのである。すべてのシリアルポートは、その中核部にUARTを持っている。シリアルポートを内蔵する内部モデムなどの製品も同様である。

8250

UARTという用語は、集積回路の機能と種類の両方を表わしたものである。したがって、正確には、チップにはメーカーが割り当てたパーツナンバーが付けられている。PC規格に従った各種のコンピュータには、3種類のUARTが採用されている。最も旧式かつ最低速最小のチップは、最初のPCとXTが使用したもので、IBMの非同期通信アダプタカードに搭載されている。「8250」と命名されたこのチップは、IBM製品を正確に模倣するために、大半のアフターマーケットベンダーが、自社の通信およびマルチファンクションボードに採用している。このチップは、過去に多くの低速内蔵型モデムに使用されており、現在でもときどき使用されることがある

パラレル信号からシリアル信号へ、またはその逆へ変換するという基本的な機能に加えて、この8250 UARTは、情報の流れおよび転送速度の制御も行っている。シリアル信号のデータ速度は、パーソナルコンピュータが提供する1.8432MHzオシレータクロックを分周して設定されている。データ速度は、このチップのレジスタの1つにロードされた除数によって設定されるのである。同様にして、ワード長、パリティ、およびストップビット数も設定される。また、ほかのレジスタによって、パーソナルコンピュータはチップおよびこのチップが管理している通信の進捗状況をモニタすることができる。

8250の技術は素晴らしいように思われるが、これもすでに陳腐化している。最初のIBM PCが発売されたパーソナルコンピュータの黎明期においてさえ、このチップの評価は高くなかった。8250の問題点は、速度が遅く、ATクラスのコンピュータの速度には付いていけないことである。しかしながら、シリアルポート速度を制限する主要因であった、IBM BIOSを介してアクセスするようなソフトウェアの作成ではなく、プログラマはチップのレジスタを直接制御することができるため、その基本設計は、すべてのパーソナルコンピュータに欠かせないものになっている。結果として、ソフトウェアの互換性を維持するためには、以降のすべてのシリアルポートは8250のレジスタ機能を継承して、バックワードコンパチビリティを保つ必要があった。

16450

性能の向上を求めて、1984年に「16450 UART」ができた。これは8250の16ビットレジスタ互換の後継チップになる。このチップはこの時点からほとんどのシリアルポートの中核の座におさまった。拡張バスの速度がここ8年間それほど変わっていないため、16450の速度は大半のユーザーにとって十分速かったからである。

16550A

しかし、1987年には、より性能が高い「16550」またはより最新型の「16550A」に移行した。性能に差があるにもかかわらず、これらのすべての最新チップは、コンピュータからは同じように見え、ソフトウェアからの命令に対して同じように動作

する。チップ間の差は、一部のケースにしか認められない。ただし、16550A は特に、性能が低いシステムや、マルチタスキングシステムに高い信頼性をもたらす。

速度以外の開発目標、つまり〝マルチタスキング〟が 16450 にとっては試練となった。旧式の UART (8250 または 16450) は、1 ワードのデータを通信回線から受信するとき、次のワードを受け取る前にこの情報に一定の処理をしなければならない。大半の通信システムでは、UART はマイクロプロセッサホストに対して割り込み信号を送ってから、このデータワードを転送して、通信に戻るのである。データの送信時にも、同様に 1 ワード単位でしか処理できない。

この過程には致命的な欠点がある。特に問題なのは、UART が割り込みをかけたときに、マイクロプロセッサが別のタスクを処理している場合である。いったん割り込み信号が送られると、プロセッサは何を行っていても、UART に対応するためにその作業を停止しなければならない。一方、UART と通信回線は、割り込みが受け付けられるまで待たされることがあるので、UART の両端で性能が落ちることになる。V.32bis モデルなどの高速モデムはより高速にデータを要求するため、この状況はさらに悪化する。

16550 UART は、この問題をうまく解決している。16 バイトの FIFO (先入れ先出し) オンボードバッファを使用しているのである。この適度な大きさのメモリによって、マルチタスクコンピュータが別のタスクに対処しているときでも、16550 は通信を維持することができる。適切にプログラミングされている場合、16650 のバッファの特性を活かすには、専用に書かれたプログラムが必要なので、それに対応したソフトウェアを使う必要がある。16550 は単独で 16 バイト分の通信を実行することができる。ホストのマイクロプロセッサが別のタスクを処理している間にも、自分でデータを送受信できるのである。ただし、16550 の内蔵バッファはソフトウェアで明示的に使用可能にする必要があることに注意しなければならない。このバッファを使用可能にしないと、16550 の機能は 16450 とまったく変わらず、パーソナルコンピュータは何の恩恵も受けることができない。

チップセット

UART チップ自体は姿を消しつつあるが、その機能は ASIC (特定用途向け IC) に引き継がれている。現在ほとんどのパーソナルコンピュータの構成の核となっているチップセットの中には、一般に 1 つ以上の UART の回路が組み込まれている。現在のワンチップコンピュータや 3 チップコンピュータでは、UART 機能が、パーソナルコンピュータのロジック機能と同じチップの中に組み込まれている。さらに、一部のメーカーは、マルチファンクションボードで使用できるように、複数の通信機能を 1 つのパッケージに収めている。たとえば、Western Digital の「16C552」は、2 つの 16550 UART と 1 つのパラレルポートを 1 つのチップにしたものである。これらの先進的なチップの場合でも、埋め込み型 UART の内部設計は、システム全体の互換性を確保するために、独立型 UART を引き続き模倣していくだろう。

UART のアップグレード

16550 は 16450 とソケットが共通になっているため、パーソナルコンピュータまたはシリアルカードの UART が、はんだ付けではなくソケット方式で搭載されていれば、チップの取り替えは数分で行える。このアップグレードは大した費用がかからず、UART は電子部品の小売店で購入できる。ただし、注文するときには、最新の「16550A」バージョンを入手すること。

入出力のアドレス指定

IBM マシンおよび互換機では、シリアルポートはマシンの回路に単純に拡張された形になっている。メモリまたはマイクロプロセッサレジスタからのデータは、単純に UART に転送され、ここでパラレルデータからシリアルデータへと必要な変換が行われる。UART の出力は**シリアルラインドライバ集積回路**を通してチャネルに出力されるが、ここで、コンピュータが使用する 5V の TTL ロジックから、RS−232 規格が指定する二極、高電圧方式に変換される。

UARTのレジスタにアクセスする場合には、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサは、コマンドをシステムのI／Oポートを通じて送信しなければならない。また、モデムが送受信するデータも、別のI／Oポートを通じてパーソナルコンピュータに伝送される。実際に、標準のPCアーキテクチャでは、各UARTに（したがってパーソナルコンピュータの各非同期通信アダプタ＝シリアルポートに）、8個のI／Oポートの空間を割り当てている。ただし、実際に使われているのは7個だけである。

DOSのもとでは、IBMは複数の非同期通信アダプタが使用できるように、4組のポートを指定している。それぞれの組は、8個の連続したアドレスのポートで構成されていて、3F8h、2F8h、2E8h、3E8hで始まるI／Oポートアドレスを使用している。OS／2もまた8個のI／Oポートのレンジを通じて非同期アダプタと通信するが、最初の2つを除いて、DOSとは異なるポートアドレスを使用している。OS／2の場合のI／Oアドレスは、03F8h、02F8h、3220h、3228h、4220h、4228h、5220h、5228hから始まる。

これらのアドレスは、ほとんどのソフトウェアやBIOS、およびオペレーティングシステムによるDOSプロンプトからは直接操作できない。これは、別の名前が各非同期通信アダプタに割り振られているためである。パーソナルコンピュータを起動すると、BIOSはシリアルポートに利用できるアドレスを探し出して、シリアルポートのベースアドレスを絶対メモリアドレス0000：0400hのBIOSデータ領域に転送する。また、I／Oポートのベースアドレスのリスト順で、ポートをサーチする。DOSは、〝COM1〟から〝COM4〟の名前をこの順序で、BIOSデータ領域にリストされているポートに割り当てる。OS／2は、そのシリアルポートを〝SERIAL 1〟から〝SERIAL 8〟と呼んでおり、それぞれにアドレスを割り当てている。

レジスタの機能

それぞれのシリアルポートに割り当てられたベースアドレスのレジスタは、データ通信に使用されている。データは、マイクロプロセッサのOUT／IN命令を使って、UARTとの間でやりとりされる。次の6個のアドレスは、ほかのシリアルポートレジスタによって使用されている。その順序は次の通りである。

1. 割り込み識別レジスタ
2. 回線制御レジスタ
3. モデム制御レジスタ
4. 回線ステータスレジスタ
5. モデムステータスレジスタ
6. ディバイザラッチレジスタ

ディバイザラッチレジスタは、送受信レジスタが使っているベースアドレスと、割り込みイネーブルレジスタが使っている2番目のアドレスのレジスタを共用している。これらに対するアクセスの切り換えは、回線制御レジスタの設定状態を変更することで行う。

ディバイザラッチは、シリアルポートの動作速度を決定する除数を格納している。このラッチにロードされた値を16倍し、その結果の値でUARTチップに供給されるクロック信号を割って、ビット速度を決定する。シリアルポートが動作できる速度は、16の倍数の因数であり、最高速度は供給されるクロック信号（1.8432MHz）の1／16が限界になる。ラッチ値を最小値の1に設定すると、ビット速度は115,200となる。

レジスタはUARTチップが使用する値を格納するだけでなく、シリアル変換の進捗状況をシステムに報告するためにも利用される。たとえば、回線ステータスレジスタは、伝送するためにロードされたキャラクタが実際に送信されたかどうかを示す。また、新しくキャラクタを受信した時点もこれで示される。

DOSのDEBUGコマンドや自分のプログラムを使って、ユーザーはこれらのレジスタに格納されている値を変更できるが、通常はこれらのレジスタにかかわる必要はない。しかし、このレジスタはプログラマに柔軟性を提供してくれる。

DIPスイッチやジャンパを使って設定しなくても、これらのレジスタが直接アドレス指定できるおかげで、重要な動作パラメータはすべてソフト

ウェアによって設定できる。たとえば、適当な値を回線制御レジスタにロードすると、ワード長、パリティ、シリアルワードに使用されるストップビットの数を変更することができる。

フロー制御

データ伝送のほかに、UART は、自分自身の動作や、自身が従事しているシリアル転送の管理方法を制御する信号を生成したり、ほかの信号に反応したりする。制御は、I／O ポートを通じてコンピュータがアクセスする、複数のレジスタを介して行われる。たとえば、シリアルポートの通信速度を変更したい場合には、単にレジスタに適切な値をロードすればよい。実際の通信制御は、パーソナルコンピュータの後部パネルのシリアルポートコネクタに出力もしくは受信される電気信号によって行われる。

UART 機能の 1 つに、シリアル回線におけるデータフロー制御がある。すべてのシリアル交換は、2 つの装置が会話を行っているようなものである。一方の装置が話しているときは、他方はこれを聞かなければならない。正常な会話とまったく同様に、聞き手が注意を払わないと、コミュニケーションは成り立たない。また、話し手があまりにも早口で話すと、聞き手は混乱して話のほとんどを聞き逃すことになる。コンピュータ間のシリアル通信も、これと同じ課題を抱えている。データ転送の手順に正しく従わないと、コンピュータはデータを無造作に取り出して、これを消失させかねない。たとえ接続に問題がない場合でも、受信側の装置が別のモードで動作しているために、転送されてくるシリアル情報を正しく受信できない場合もある。あるいは、シリアルデータがあまりにも高速で着信すれば、受信側システムがこれに対応できず、その情報を保存しておいて後でチェックすることさえできないこともあるだろう。この場合、受信側システムから送信側システムに対して、データの獲得準備が整うまで停止して待機するように通知する手段が必要になる。シリアルデータの〝フロー〟を制御するための方法がいくつか開発されているが、これらはすべて、伝送手法の用語における**ハンドシェイク**と呼ばれる方法に分類されるものだ。

最も簡単な解決方法は、受信側システムが受信の準備が整っていることを通知するために使用する信号線として、特殊な配線を使用することである。この方法は特別なハードウェア（フロー制御線）を使用することから、**ハードウェアハンドシェイク**と呼ばれる。これは、現在の IBM 互換機のシリアルポートに採用されている、デフォルトのフロー制御方法である。ただし、一部の通信チャネルでは、特別な信号線を使用することができない。たとえば、モデム（シリアルポート通信装置の典型例）が使用する電話接続は、データの搬送用に 2 本のワイヤ線しか持っていない。このようにハードウェアによる送信手段が利用できない場合には、代替手段によるフロー制御が必要となる。このような通信を論理的に管理するには、聞き手に特殊キャラクタを与えればいい。このキャラクタは、話し手に対してスローダウンもしくは停止するように通知するセマフォアとして使用される。再びスピードアップできることを通知するには、別のキャラクタを使う。このようなフロー制御は、ハードウェアを使わないため、**ソフトウェアハンドシェイク**と呼ばれている。さらに、フロー制御に使われる制御コードは、ソフトウェアで実現される、一時的に出現するものだ。

大半のソフトウェアハンドシェイク法では、受信側システムは 2 つのキャラクタを使って、送信側システムに対して、データ伝送を受信できる準備が整っている時点と、一時的にこれ以上のデータを受け付けることができない時点を通知する。一般に、ソフトウェアハンドシェイクでは、2 つのキャラクタがペアで使われる。**ETX／ACK ハンドシェイク**では、データ伝送に休止が必要であることを通知するために、ASCII16 進数キャラクタの 03h（ETX＝End TeXt または Control－C とも呼ばれる）の制御コードが使われ、再開 OK を通知するには 06h（ACK＝ACKnowledge または Control－F とも呼ばれる）が使われている。現在のパーソナルコンピュータ製品で最も一般的なハンドシェイクは、**XON／XOFF ハンドシェイク**である。これは、データフローの休止および再開を通知するのに、ASCII キャラクタの 13h（DC1、XOFF、Control－S）およ

び11h（DC3、XON、Control－Q）を使っている。

シリアル接続を使用しているほとんどのパーソナルコンピュータ周辺装置は、特別なソフトウェアドライバなしで、ソフトウェアハンドシェイクのオプションを提供しているが、IBM互換機とは適切に動作しない。それらのマシンはフロー制御キャラクタを認識しないため、これに対応することもないのだ。結果として、データがオーバフローして、キャラクタが伝送中に失われる。たとえば、シリアルプリンタを使用しているときにソフトウェアハンドシェイクが機能しないと、文字、単語または段落全体がプリントアウトから消えるというミステリが起きる場合がある。

ただし、多くのアプリケーションプログラムには、プリンタなどの周辺装置の制御や、ハードウェアハンドシェイク信号を使用できないモデムを介した遠隔のデータ送信装置との通信を可能にするために、ソフトウェアによるフロー制御を行うコードが組み込まれている。多数のマルチユーザーまたはマルチタスキングのオペレーティングシステム（OS／2など）の多くにも特殊なドライバがあり、特別なアプリケーションなしで、システムのシリアルポートを通じてソフトウェアハンドシェイクを使うことができる。

割り込み

UARTは、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサとやりとりを行う。UARTは、情報を整然と転送して、マイクロプロセッサが表示または格納するためにこのデータを処理できるようにしなければならない。最高速度を達成するために、UARTは、受信したデータはできるかぎり速やかに渡すことができなければならない。フロー制御を使って情報が殺到するのを止めるたびに、伝送速度は遅くなるため、この意味でも、UARTには高速な受け渡し動作が必要である。また、即座にマイクロプロセッサの注意を喚起することも必要だ。UARTは、ハードウェア割り込みをマイクロプロセッサに送信して、必要としている注意を得ることができる。

ほとんどのシリアルポートは、適切に動作できるように割り込みが割り当てられていなければならない（シリアル通信は割り込み制御なしでも動作するが、この場合には速度が厳しく制限される）。理想としては、個々のシリアルポートに専用の割り込みが割り当てられて、衝突が回避できることが望ましい。しかし、パーソナルコンピュータが利用できるハードウェア割り込みの数は少ないため、IBMはシリアルポートに割り当て可能な割り込みの数を制限しようとした。通常は、IRQ3とIRQ4の2つの割り込みが使われている。一般に、COM1シリアルポートにはIRQ4が割り当てられており、COM2はIRQ3を使用しているのが一般的である。また、COM3はCOM2とIRQ3を共用し、COM4はCOM1とIRQ4を共用している。

この初歩的な割り込み共用方式には欠点がある。複数のシリアル装置が同時に動作して、割り込みをマイクロプロセッサに要求する場合があるからだ。同じ割り込みを使用する2台の装置がマイクロプロセッサのアテンションの獲得競争をすると、チップはどのポートが即時サービスを必要としているのかわからなくなる。結果として、コマンドが混乱して、データが失われることがある。シリアルポートを割り当てるときは、同時に動作する可能性のある2つのシリアル装置には、同じ割り込みを割り当てないように注意しなければならない。

マウスは常時アクティブな状態になっており、パーソナルコンピュータにコマンドを発行できる態勢にあるため、ほかの装置と割り込みを共用してはいけない。たとえば、シリアルマウスをCOM1（IRQ4を使用している）に接続したら、モデムはCOM4（これもIRQ4を使用している）に接続してはいけないということだ。

コネクタ

シリアルポートで外部から見えるのは、シリアル装置との接続口であるコネクタである。IBM互換機のシリアルポートは、コネクタのタイプによって識別することができる。一般に、2種類のコネクタが使用されており、IBM PC、XTおよびPS／2はすべてオス型の25ピンDsubコネクタを、ATはオス型の9ピンDsubコネクタを採用している。ATで小型コネクタが採用されたのは、このシステムで採用されているシリアル／パ

ラレル一体型ポートボードのカードブラケットに合わせたためである。IBM 方式ではシリアルコネクタの 25 本のピンすべてが使用されているわけではないので、代わりに小型コネクタを使用することもできるのである。ただし、パラレルポートはピン割り当てをすべて使用している。

25 ピン Dsub コネクタを使用しているパラレルポートは、メス型である（つまり、ピンの代わりに穴があいている）ことから区別できる。旧式の MDA／CGA／EGA ビデオコネクタは、AT シリアルポートと同様に 9 ピン Dsub コネクタを使っているが、やはりメス型のコネクタを採用している。

ほとんどのシリアルケーブルは、両端に 25 ピンコネクタを使っているため、AT の 9 ピン接続を 25 ピンに変換するアダプタが必要となる。アダプタは市販のものがあるが、自分専用のアダプタを作ることもできる。図 17-1 は、IBM 9／25 ピンシリアル変換器の配線図である。

25ピンコネクタ	9ピンコネクタ
2	3
3	2
4	7
5	8
6	6
7	5
8	1
20	4
22	9

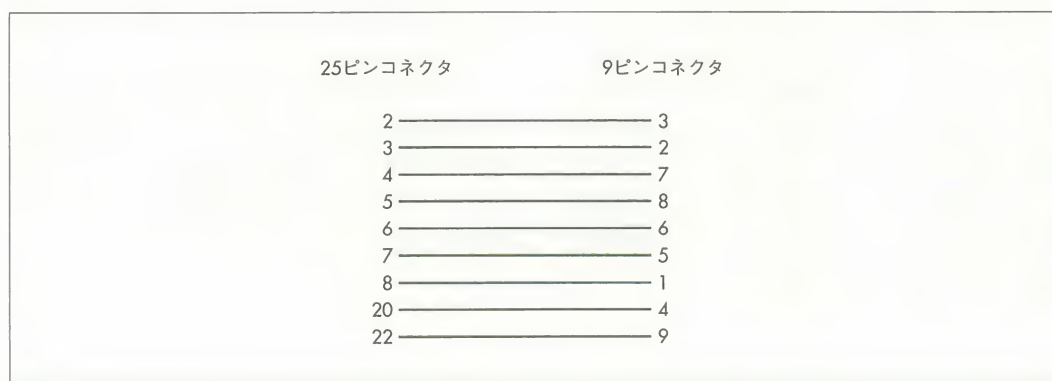



図 17-1　9／25 ピンシリアル変換器の配線

シリアル装置の種類

シリアルポートの動作がどのようにサポートされているかを理解するには、恐竜のような大型コンピュータがこの地球を席捲し、パーソナルコンピュータの姿などは見えもしなかった暗黒時代を回顧しなければならない。もともと、RS−232 ポートは、巨大なメインフレームコンピュータと、遠隔都市に設置されている端末とを接続するために、モデムとデータ端末とをつなぐために設計された。この接続方式は、半縮小化されたエレクトロニクスしか存在しない世界では、ほとんどどこにでも見られる〝分業〟の思想に基づいている。端末はキーストロークをデジタルパルスに変換し、相手から送られてくるパルスを画面上のキャラクタに変換する。これに対してモデムは、端末からのデジタル信号を、電話回線で伝送できるアナログ信号に変換するのである。

RS−232 方式では、接続の末端に位置する装置には厳格に定義された名前が付けられている。端末は**データ端末装置**（DTE：Data Terminal Equipment）、モデムは**データ通信装置**（DCE：Data Communication Equipment）と呼ばれる。この 2 つの装置の差は、名前以上に大きい。この 2 つの装置の間の通信は、きわめて巧みに順序付けられた要求と応答のくり返しで行われている。また、この 2 つの装置は、動作も配線も異なっている。

DTE か DCE かに関係なく、装置上のシリアルポートは双方向で機能しなければならない。情報は双方向で流れるため、接続の両端は送信装置としても受信装置としても動作する必要がある。接続には必ず 2 つの端がある。そして、その接続の一方の端が端末とモデムだとすると、もう一方の端では、相手の装置が別のモデムを通じて、コンピュータや別の端末、プリンタに対して話しかけてくることになる。接続のいずれの端につながれるかに関係なく、モデムが DCE であり、端末／コ

ンピュータ／プリンタがDTEであるかぎり、すべての通信は正常に動作する。

両端の装置は、送信も受信も行う上、しばしばそれらが同時に行われる。このような複雑さのために、真のRS−232式接続を実現するためには、1つの通信回路では十分でないことがある。シリアル装置が自分の伝送を聴いて反応することによって誤動作しないように、標準のシリアル接続は送受信用にそれぞれ別のワイヤを使っている（モデムは同じワイヤリンク上で2つの異なる信号を使っているため、追加のワイヤはいらない）。

ただし、信号の送受信用に別々のワイヤを使う際は、気を付けないと問題が発生する。一方のシステムが送信に使用する結線は、別のシステムが受信に使用する結線でなければならない。また、この逆の関係も成立しなければならない。両装置が同じ結線を使って送信すると、いずれの装置も受信できず、通信が成り立たない。

慣例によって、コネクタの2ピンと3ピンは2つの通信信号に使われている。通常、DTEは2ピンを使って送信し、3ピンを使って受信している。また、DCEは3ピンを使って送信し、2ピンを使って受信している。ただし、9ピンのATは例外である。ATはDTEと考えられるが、DB−9接続の3ピンを使って送信し、2ピンを使って受信している。IBMが提供している通常の9／25ピンアダプタは、ATを標準の25ピンDTEスタイル接続に変換する。

シリアルポートの送受信ピンに関して1つの重要なポイントは、**ストレートスルー**ケーブル、つまり、一方の端のピンが他方の端の同一番号のピンに直接接続されているケーブルを使用する場合には、DTEは常にDCEに接続しなければならないし、またDCEはDTEに接続されるときにのみ動作するということである。

17.3　シリアルポートの動作方法

RS−232は、特定の機能をシリアルケーブルのワイヤに割り当てている。データに使う2本のワイヤに加えて、ハードウェアハンドシェイク用と、動作を適切にするための結線も必要である。標準25ピン（DTE）および9ピンIBMシリアルコネクタの各種の接続と名称は、表17-1に示すとおりである。

表17-1　IBMシリアルポートのピンアウト

ピン番号	機能	信号名
25ピンコネクタ		
2	転送データ	TXD
3	受信データ	RXD
4	送信要求	RTS
5	送信可	CTS
6	データセットレディ	DSR
7	シグナルグランド	GND
8	キャリア検出	CD
20	データ端末レディ	DTR
22	リングインジケータ	RI

ピン番号	機能	信号名
カレントループ接続（IBM 非同期アダプタのみ、現在は廃止）		
9	カレントループリターン送信	
11	カレントループデータ送信	
18	カレントループデータ受信	
25	カレントループリターン受信	
9 ピン（AT タイプ）コネクタ		
1	キャリア検出	CD
2	受信データ	RXD
3	送信データ	TXD
4	データ端末レディ	DTR
5	シグナルグランド	GND
6	データセットレディ	DSR
7	送信要求	RTS
8	送信可	CTS
9	リングインジケータ	RI

これらの割り当ての中で最も重要なのが、7 ピンの**シグナルグランド**である。データ信号とハンドシェイク信号の 2 つに必要な戻り経路になるこの結線は、すべてのシリアルケーブルに存在しなければならない。

シグナルグランドは独立した接地であり、1 ピンの**フレームグランド**とはまったく別のものである。このワイヤに対応しているシリアルコネクタのピンは、3 線式 AC ケーブルの 3 番目の突起とまったく同様に、機器の金属シャシーやケースに直接接続されている。実際、この接続は電気接地と同じ保安機能を果たしている。これによって、2 台のシリアル装置の外部金属部が同じ電位にあることが保証され、2 台の装置に同時に触れても電気ショックを受けることがなくなる。体に電気が流れて感電死するようなこともなく、電気は 2 台の装置を流れる。

適切な接地

ただし、この接続は必ずしも必要でなく、また必ずしも望ましいものでもない。シリアル連結された 2 台の装置が、すでに電源ケーブルによって接地されている場合は不要である。また、2 台のシリアル装置が大きく離れていて、電源が別になっている場合には望ましくない。電気接地の電位が変動し（個別の接地線に存在する抵抗が異なるため）、接地されている電源ケーブルが、2 台の装置を大幅に異なる電位におく可能性がある。また、フレームグランド回路が、相当の電流を**接地ループ**として搬送する可能性もある。このループの電流が大きい場合には、電気干渉を引き起こす可能性がある。フレームグランド用のワイヤを溶かして、発火するに十分なほどに電流が大きくなる可能性もわずかではあるが存在する。

下記の規則に従えば最適な接地が行える。

- 接続された 2 つのシリアル装置が、電源コードによって接地されている場合には、フレームグランドの結線は必要ない
- 一方の装置だけが電源ケーブルによって接地されている場合には、他方の装置も電源ケーブルによって接地することが望ましい。そうでなければ、シリアルポートのフレームグランドの接続を使用すること

信号の機能

接続の終端にある一方の装置がオフ状態のときは、シリアル通信を開始しようとしても無駄だ。一方の装置が受信しないと、他方の装置からの情報はシリアル回線を無駄に流れて、最後には消失してしまう。このため、RS−232 仕様では、接続の両端に装置が接続されていて、オン状態になっていることを知らせるワイヤが 2 本ある。

20 ピンの信号は、**データ端末レディ**（DTR）信号と呼ばれている。この信号は、DTE から送信される正電圧であり、装置が接続されて電源が投入され、通信を開始できる状態にあることを通知するものである。

もう一つの信号は 6 ピンにある。**データセットレディ**（DSR）信号と呼ばれ、このライン上の正電圧は、DCE がオン状態にあってジョブを実行できる状態にあることを通知する。

通常の RS−232 のシリアル接続では、通信を開始する際には、これらの信号の両方が必ず出力されていなければならない。DTE は DTR 信号を DCE に送信し、一方の DCE は DSR 信号を DTE に送信する。これで、両装置とも相手の装置が動作可能な状態にあると知ることができる。

通常のモデムのハードウェアハンドシェイクは、2 本のまったく異なるワイヤによって実現されている。DCE は 5 ピンの接続に**送信可**（CTS）信号と呼ばれる正電圧を出力して、DTE 装置にデータが送信できることを通知する。要するに、DTE に対して、何も邪魔するものがないことを知らせるのである。この接続のもう一方の端では、DTE が 4 ピンに**送信要求**（RTS）信号と呼ばれる正電圧を出力して、DCE に対して情報を受信したいという要求を通知する。

CTS ラインと RTS ラインの両方に正電圧が出力されていない場合には、データはいずれの方向にも流れないというのが原則である。正電圧が CTS ラインになければ、DTE はデータを DCE に送信しないし、正電圧が RTS ラインになければ、DCE はデータを DTE に送信しない。

DCE はさらに、データのフローに影響する信号を発行する。**キャリア検出**信号（CD）または**データキャリア検出**（DCD）信号と呼ばれるライン上の正電圧は、DCE であるモデムが接続のもう一方の端にあるモデムから、キャリア信号を得ていることを通知するものである。このキャリアが検出されない場合には、シリアル信号が存在せず回線ノイズである可能性がある。この CD 信号の助けで、DTE は自分が注意していなければならないときを知る。CD が正でないときには、DTE がデータの受信を拒否することがある。

22 ピンの信号は、**リングインジケータ**（RI）と呼ばれ、接続している DTE 端末に対して、電話回線上でリンギング電圧を検出したことを通知するために、DCE のモデムによって使用される。つまり、RI の正電圧は、端末に対して、ある装置がモデムを呼び出していることを通知しているわけだ。ほとんどのシリアル通信方式では、これはオプションの信号になっている。この信号がなくても、シリアルデータのフローには支障がないからである。

通常のシリアル通信セッションは、特別なプロトコルに従って実行されている。通信が実行可能になる前に、接続の両端のハードウェアはオン状態になって動作可能な状態になければならない。DTE、つまりコンピュータは DTR 信号を出力し、一方の DCE、つまりモデムは DSR 信号を出力する。モデムは電話の呼び出しによって起動されると、RI をコンピュータに送信し、これによってメッセージが画面に表示される。モデムが呼び出しの相手側の終端にある別のモデムと接続を完了すると、呼び出し側のモデムが CD 信号をコンピュータに送信する。呼び出し前の待機中にオン状態になっていない場合には、コンピュータは RTS 信号を出力し、モデムは CTS 信号を出力する。

キーボードから入力したデータをモデムに送るか、ファイルからデータをモデムに送る場合に、モデムのデータ送信速度がコンピュータ側に追い付けないときには、モデムは CTS 信号を落として、パーソナルコンピュータに対してしばらく動作を延期するように指示する。再び CTS を正にすると、コンピュータはデータ送信を再開する。

データがモデムから送信されるときに、コンピュータが伝送データの一部をディスクに保存するなどの重要な作業を行う必要がある場合には、

RTS 信号を落とすと、モデムはデータの送信を停止する。コンピュータがディスクに関する雑用を終了して、再び RTS 信号を立てると、データが再びモデムから流れてくる。

17.4　DTE同士の通信

DTE として機能するコンピュータシリアルポートを、DCE として機能するモデムに接続する限り、このシリアル接続方式は大抵最初から正常に動作する。必要不可欠なすべての信号をまかなえるだけの端子を持ったケーブルを、コンピュータとモデムの間に渡すだけで、トラブルのないシリアル通信を行えるのである。これを試してみると、どうしてこんなに多くの人々がシリアル接続の気まぐれに不平をとなえるか不思議に思うだろう。

問題は、モデム以外の装置をシリアルポートに接続する場合である。モデム以外の一般的なシリアル装置としては、プリンタ、プロッタ、マウス、デジタイジングパッド、ビデオ表示端末などがあるが、これらの装置のほとんどは、DCE としてセットアップされず、端末とプリンタの二重の役目を持っていた初期のコンピュータプリンタに従って、自身が DTE 装置になるのである。

2 台の DTE を通常のシリアルケーブルを使って接続すると、結果的にケーブルによって接続された 2 台のシリアル装置を持つことになる。2 台の DTE は、それぞれが相手が聴いている回線を聴いて、相手が話している回線で話しているため、通信システムとはならないのである。DSR ピンに適当な電圧が存在しないと、これらは話すことさえしなくなる。

IBM 互換機はすべて DTE である（特殊な例外として、9 ピンシリアルコネクタを装備した AT がある）。モデムやほとんどのマウスは DCE であり、IBM スタイルの 25 ピンシリアルポートに直接接続することができる。ただし、プロッタなどの多くの周辺装置と同様に、DTE として動作するシリアルプリンタは問題を生じる。

シリアルプリンタをパーソナルコンピュータに接続する際に生じる問題の解決策は、単純ではあるが、パーソナルコンピュータに対してはパラレルプリンタしか使用しないことである。ただし、常にこの方法がとれるわけではない。プリンタを遠くに設置するためにはシリアルプリンタが必要になるし、利用できる唯一の接続がシリアル接続であることもある。

クロスオーバーケーブル

プリンタなどの DTE を、パーソナルコンピュータのシリアルポートに接続しなければならない場合には、この 2 つのポート間のどこかで 2 ピンと 3 ピンを反転させなければならない。**クロスオーバーケーブル**と呼ばれる特殊なケーブルは、まさにこれを行うためのものである。さらに、ほとんどのクロスオーバーケーブルは、RTS リードおよび CTS リードと同時に、DTR リードと DSR リードのスワッピングも行う。このようにして、2 台の DTE は相互にデータが交換できるようになる。それぞれの装置からの DTR 信号は相手に対して自分が動作可能であることを通知し、RTS 信号はフロー制御信号として機能する。一般的なクロスオーバーケーブルを図 17-2 に示す。

理想の世界では、2 台の DTE 間のクロスオーバーケーブルは、DTE と DCE 間の通常のストレートスルーケーブルとまったく変わらずに動作する。しかし、現実の世界は別だ。

まず問題になるのが、CD ラインに相当する信号がないことである。DTE は、CD 信号に類似するいかなる信号も送出しない。この CD 信号がないと、DTE はデータを送出できなくなる可能性がある。

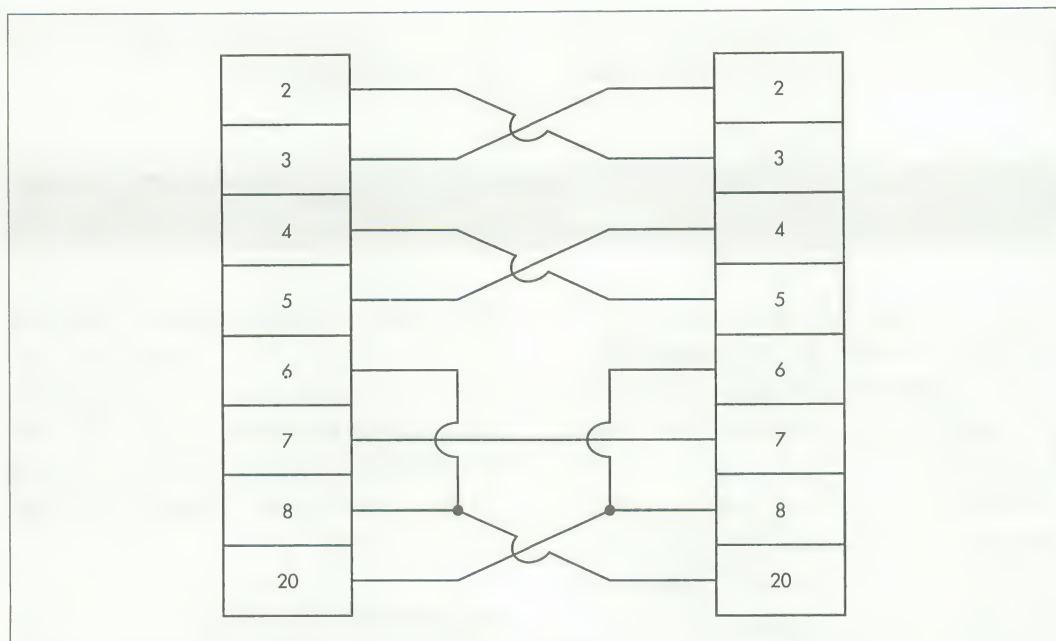



図17-2　一般的なクロスオーバーケーブル

これについては、すでにある信号を使ってCD信号を作り出すことで簡単に解決できる。DTEがデータを送り出すためには、CDおよびCTSの2つの信号が共に存在しなければならない。これらを一緒にしてしまうと、DTEはその違いに気付かない。したがって、CTSが立てられると、DTEは同時にCD信号が存在すると見なし、送信してもよいと認識するのである。

この方式を応用すると、システムの配線が簡単になり、信頼性も向上する。何らかの信号を送り出そうとする場合には、DTE装置は当然電源が入っている状態になければならない。一方、DTRとRTSは、DSRとCTSに振り替えられて、接続の当事者である別のDTEに、送信可能であることを通知する。つまり、RTSは2つの役割を果たすことができるわけだ。つまり、RTSという1つの信号は、クロスオーバーケーブルを使って、もう一方の端の3つの信号、DSR、CTS、CDを制御することができる。これらのワイヤは、シリアルケーブルに付いているコネクタの内部で実際に連結することができる。このケーブルを使えば、ほとんどのケースで、2台のDTEを交信させることができる。

DTEがすべて同様に配線されるわけではない。したがって、この特殊なクロスオーバーケーブルがすべての環境で動作するわけではない。たとえば、一部のプリンタは、DTEとして機能するコンピュータのシリアル出力に接続するように設計されている。このため、この種のプリンタは、シリアルコネクタに、DTRと同様に動作するがDTRとは別物である特殊なフロー制御ピンを採用している。このようなシリアルポートでおそらく最も一般的なのが、Digital Equipment CorporationやNECの一部のプリンタで採用している、19ピンをフロー制御に使う方式だろう。コンピュータからのDTRは、DSR、CTSおよびCDを立て、ほかの装置の制御に使用されるが、これらのプリンタの19ピンも同じことを行っている。この種の多くのシリアルプリンタに採用されているクロスオーバーケーブルを、図17-3に示す。

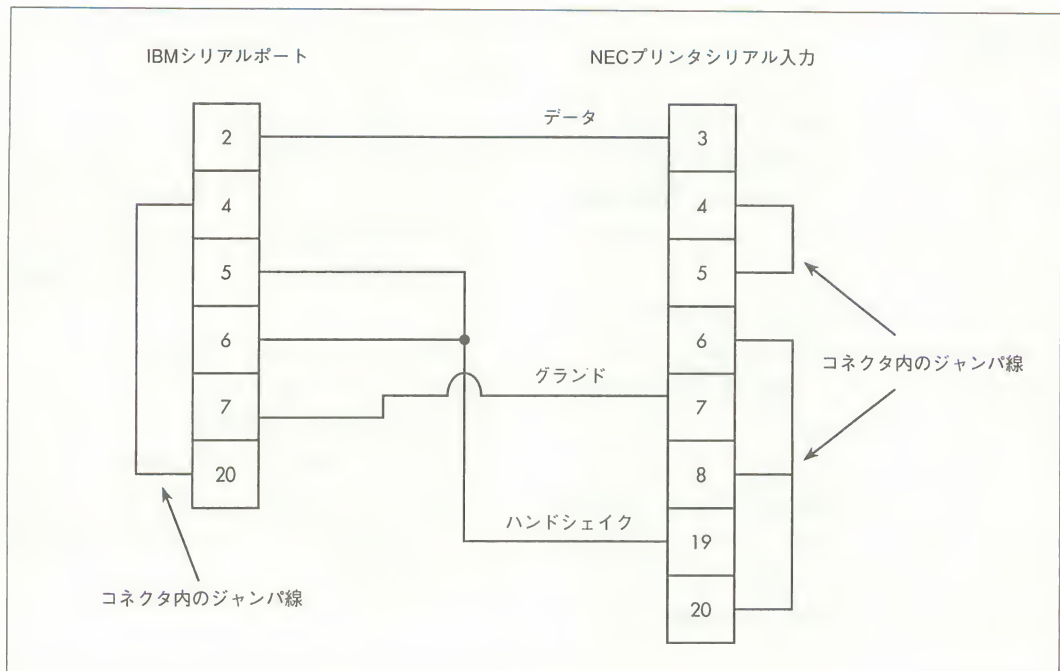



図 17-3 NEC プリンタおよび同機種用のクロスオーバーケーブル

いくつかのシリアルポートでは、DTE と DCE の切り換えを可能にすることによって、配線をクロスさせたり配線の結線を変更する際の混乱を避けられるようになっている。スイッチを切り換えるか、ジャンパを移動すると、これらの製品のピン定義割り当てが変更され、ストレートスルーケーブル以外に何も使わずに、多くのシリアル装置で動作するようにできる。

ただし、このようなどっちつかずのポートは万能薬ではない。自分を DTE と定義すると同時にフロー制御に 19 ピンを使用することによって、クロスオーバーケーブルに問題を発生するシリアルプリンタはその例である。適切に構成された DCE でも、ストレートスルーシリアルケーブルを通じてこの種の DTE ポートに接続されると、効果的なフロー制御を提供しなくなるからである。

正しいハードウェアハンドシェイク接続の組み合わせを見つけるのに簡単な方法の一つとして、ソフトウェアにこれをまかせてしまうという方法がある。つまり、ハードウェアハンドシェイクを避けて、代わりに大半のシリアル装置で利用できる XON－XOFF ソフトウェアフロー制御を使用するのである。これはアイデアとしては良いが、すべてが適切に動作しなかったり、まったく動作しないときには、何時間もの悪戦苦闘が強いられる危険性もある。

ソフトウェアハンドシェイクを使用しようとしても、何も起こらないことがよくある。これは正しいソフトウェアドライバがないためで、PC や PS／2 の方では、ユーザーがソフトウェアハンドシェイクを使いたいと思っていることを分からないのだ。この場合、DSR や CTS が接続先のシリアル装置から送られてくるのをただ待っているだけとなる。

さらに、ソフトウェアによるフロー制御に切り換えても、DTE および DCE の送受信接続は変更されない。DTE コンピュータを DTE プリンタ（またはそのほかの装置）に接続する場合には、たとえソフトウェアハンドシェイクを使う場合も、クロスオーバーケーブルが必要なことには変わりない。

ヌルモデム

しかしながら、ソフトウェアハンドシェイクを使うと、シリアル接続に関するそのほかの多くの約束事から解放される。自局側の信号を使ってシリアルポートをだまし、ケーブルの反対側の装置から自分が望む信号を得ていると信じ込ませることができる。たとえば、パーソナルコンピュータ自体が提供している正電圧を、DTR信号の代わりに使えば、シリアルコネクタ内部で4つのピンを連結することによって、DSR、CTSおよびCD信号が完全な応答信号を受信できていると、パーソナルコンピュータに信じ込ませることができる。

このトリックを行う（通常は双方向で、つまり接続されている両ポートに対して）ケーブルまたはアダプタは、**ヌルモデム**と呼ばれることがあるが、この用語の指す意味の範囲はかなり曖昧になっており、「ヌルモデムケーブルをくれ」というと、単純なクロスオーバーケーブルや、すべてのハンドシェイク回路が一緒に配線されているケーブル、あるいはこれら2種類のケーブルを一緒にした、データペア（2ピンと3ピン）を振り替えてハンドシェイク回線を接続するケーブルを渡されることがある。**図17-4**は、正しいヌルモデムの配線図である。

この種のケーブルが正しく配線されていることを確認するには、自分でやるしかない。たとえこれが正常に動作するとの保証にならないまでも、またはあなたの技術力が、それが動作しないことしか証明できない程度であっても、購入する前に、ケーブル配線図またはケーブル説明書を詳細に検討する必要がある。

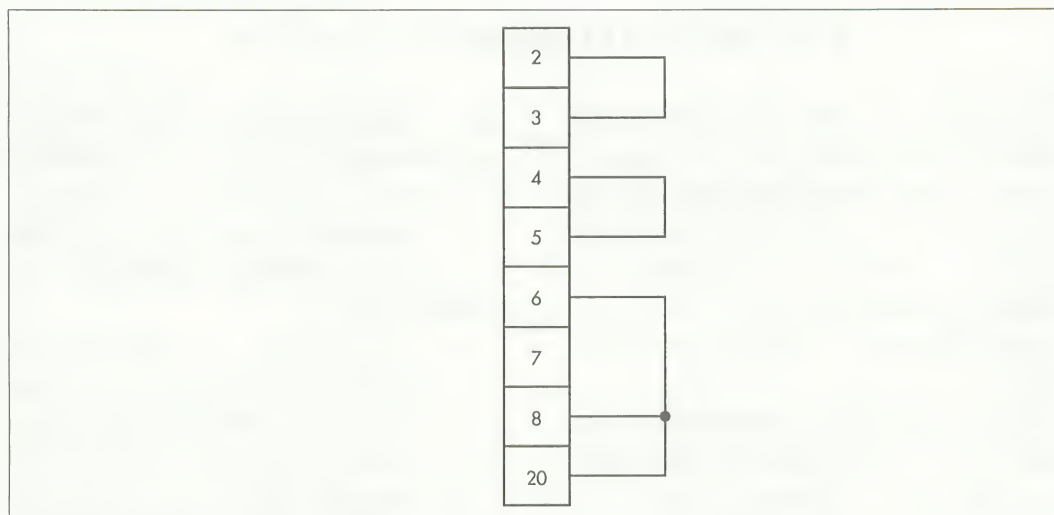



図17-4　ヌルモデムの配線（ループバックコネクタ）

3線式シリアル接続

パーソナルコンピュータに接続するDTEが、プロッタまたはプリンタである場合、すべてのシリアルポート信号についてあれこれ考える必要はない。ハードウェアハンドシェイクの場合には、プリンタがパーソナルコンピュータに伝えるべきことは、停止および開始の時点だけである。これは1本のワイヤだけで処理できる。また、片方向のデータフローなら、データ転送用のワイヤは1本だけで十分である。さらに、1本の接地線をハンドシェイクとデータ信号で共用できるため、シリアル装置は、TXD上のデータ用とシグナルグランド用、およびハンドシェイク用の3本のワイヤだけで接続することができる。

このようなきわめて簡素化されたケーブルを採用する理由はいくつか考えられる。まず、接続数が少ないために、トラブルも少ないということがある。また、システムを動かそうとする際に要求されることのある試行錯誤の回数を、3線式ケーブルの場合は大幅に簡素化することができる。**図17-5**に、このような接続用として使用できる2種類の3線式ケーブル、つまりストレートスルーとクロスオーバーの両ケーブルを示す。

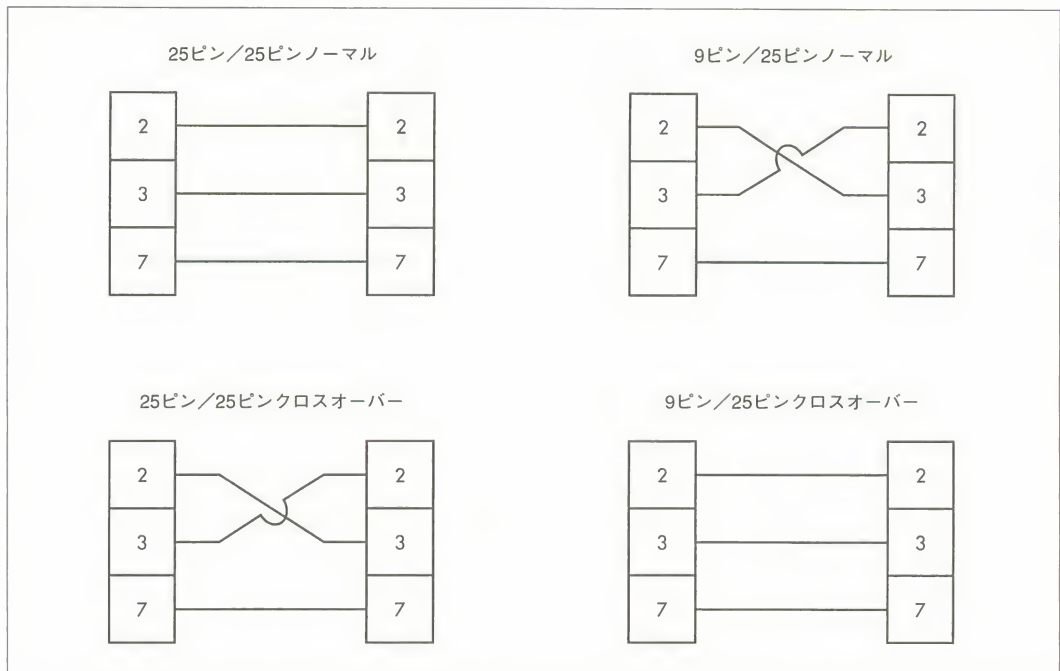



図17-5　3線式シリアルケーブル

17.5　シリアル通信のトラブル診断

シリアルポートの接続および動作には様々な方法があるため、正常に動作しない構成を行いがちである。シリアル接続のミスマッチの結果として、データフローが遅かったり、まったくなかったり、奇妙な文字がテキスト中に現われたり、シリアルデータが消失したりと、様々なトラブルが発生する。

この種の問題を解決するために、**ブレークアウトボックス**が使われている。この、両側に端子のあるシリアルコネクタは、パーソナルコンピュータのシリアルポートに接続して使用するもので、シリアルケーブルはこのボックスに接続される。ブレークアウトボックス上のインジケータは、シリアルポートのどの信号がアクティブになっているかを表わしてくれるので、ブレークアウトボックスのジャンパスイッチによって、正しいインジケータを点灯させ、正しく動作する接続になるまで、シリアル配線を椅子取りゲームの感覚で調整できるのである。

ただし、基本的なトラブルシューティングについては、ブレークアウトボックスを必要とするま

でもない。徴候を注意深く観察して、シリアルポートがどのように動作しているのか、何が不調なのかを少し考えれば、強情なシリアル接続でも動作させることができることもある。以下の各節では、シリアルの問題が発生した場合にユーザーが自問自答するときの疑問をもとにして、そのトラブルシューティングの手法について述べる。

ポートハードウェアは動作しているか？

問題が生じたときに、それにはまったく関係ない場所を調べ始めるというのは、我々にはよくあることだ。シリアルポートが原因のように見えても、実際には装置やケーブルの問題であることがある。シリアル通信のトラブルを診断する際の第一歩は、トラブルの原因となっている箇所を特定することである。

正しく動作するシリアル回路が1つあれば、その作業は簡単になる。使用するポートを変えれば、問題の箇所を、使用しようとしている装置とポート割り当てのどちらかに特定できる。これをチェックするには、ポートに直接接続されているケーブルコネクタ（シリアル装置に接続されているコネクタではない）を差し換えて、動作しているシリアル装置を疑いのあるポートに接続すればよい。接続したポートをアドレスするようにソフトウェアを変更した後に、差し換えたシリアル装置がさっきまではうまく動作しなかったポートの上で動作する場合には、シリアルポートは正常に動作しているが、これに接続されているケーブルまたは装置に問題があると考えることができる。

もう1つ行うべき予備チェックは、使用したいシリアル装置がDCEとDTEのどちらの装置として設計されているかを調べることである。使用するケーブルは装置のタイプによって決められる。IBM互換機に接続する場合には、DCEはストレートスルーケーブルで動作するはずだ。また、PCまたはPS／2に接続されるDTE装置は、特殊なケーブルを必要とする。ケーブルと装置のタイプが一致していないと、データはまったく流れない。

何か動作するデバイスを用意できるか？

動作することが確認されているシリアルポートやアクセサリを用意する余裕がない場合には、たいへん手間のかかるテストを実施するはめになる。動作することが確認されているシリアル装置を使用すると、比較的簡単にポートをチェックできる。

テスト機器として最適なのは、Hayes互換モデムと、動作することが確認されているストレートスルー接続ケーブルであろう。このモデムをポートに接続して動作するかどうかチェックする。モデムが動作すれば、ほかのシリアル装置およびそのケーブルに問題の箇所を限定することができる。モデムが動作しない場合には、恐らくあなたがもともと接続しようとしていた装置は、動かすのにやっかいなものであると考えられるため、さらに深く追求しなければならない。

動作がすることが確認されているシリアル装置がないか、動作しないシリアル装置しかない場合には、ポートがどのようにトラブルを発生したかを調べることが次のステップとなる。実際にこのチェックは、ポートが動作しないことを発見した時点ですでに行っているはずだ。ただしこのとき、嫌になって中途半端に放り出さずに、トラブルの発生の仕方およびそのトラブルによってシステムが置かれた状態によく注意する必要がある。

シリアルポートで最も一般的に見られるトラブルは、まったく動作しないことである。データをシリアルポートに送信しようとしても、応答がなく、ときにはコンピュータの制御が失われて、コンピュータを再ブートして動かすしかなくなる。

最も初歩的な原因は、シリアルポートを持っているつもりで実は持っていないということである。シリアルカードと考えているものを接続していても、それがシリアルカードでなかったり、シリアルカードであっても、それが動作しない場合などが考えられる。

システムがこのシリアルポートを認識していることを確認することが、最初のステップとなる。これには、DOS診断プログラムのDEBUGを使ってメモリ中のポート割り当てをチェックすればよい。DEBUGのDUMPコマンド（Dだけでも可）が、メモリ中に格納されているデータを画面に表示してくる。絶対アドレス400hから始まるロケーションが特に重要である。PC、XTおよびATで

は、400h の先頭の 4 バイトが、コンピュータがサポートする 2 つのシリアルポートのポート割り当てを格納している。一方、PS／2 は先頭の 8 バイトを使って、自分がサポートする 4 つのポート割り当てを格納している。大半の PC ベースのデータと同様に、これらのポート割り当ては最下位バイトを先頭にして格納されている。

システムのシリアルポート割り当てを表示したい場合には、Debug を実行する。ハイフンのプロンプトが表示された時点で、下記のコマンドを入力する。

```
-d 40:0
```

このコマンドは、絶対メモリアドレスの 400h から始まる 128 バイトをディスプレイに表示するように命令するものだ。

たとえば、システムに 1 つのシリアルポートがある場合には、次のように表示されるはずである。

```
.0R80
-d    40:                        0
0040:0000 F8 03 00 00 00 00 00 00-78 03 00 00 00 00 00 00 .......x........
0040:0010 63 42 F0 C0 02 00 00 80-00 00 2A 00 2A 00 20 39 cB........*.*. 9
0040:0020 34 05 30 0B 3A 27 30 0B-0D 1C 09 0F 0B 25 66 21 4.0.:'0......%F!
0040:0030 64 20 65 12 62 30 75 16-67 22 0D 1C 64 20 01 80 d e.b0u.g"..d ..
0040:0040 4E 00 00 00 00 00 00 09-02 03 50 00 00 10 00 00 N.........P.....
0040:0050 00 18 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00 00 ................
0040:0060 07 06 00 D4 03 29 30 98-00 B3 09 04 F3 5F 0B 00 .....)0......_..
0040:0070 00 00 00 00 00 01 00 00-14 14 14 14 01 01 01 01 ................
.0R60
```

先頭の 2 バイトは、このシステムに、ポート番号 03F8h で割り当てられた 1 つのシリアルポートが確実に存在することを意味している。

ポートは衝突していないか？

せっかく複数のポートがあるのに、どのポートも動作しなかったり、2 つを同時には使えない場合には、トラブルはポート割り当ての衝突に起因している可能性がある。たとえば、2 つのポートが同時に COM1 であろうとしているとき、2 つの異なるハードウェアがコンピュータのコマンドに同時に応答する場合には、ユーザーもソフトウェアも、ペアのどちらがどの時点で応答してくるのか知ることができない。したがって、システムは、断続的に動作したり、まったく動作しなくなるのである。

システムにシリアル出力を行う装置が標準装備されている場合に、内部モデム、マルチファンクションボードまたは一部のマウスアダプタを追加すると、簡単にポート重複のわなに足を踏み入れてしまうことになる。普段は、コンピュータもアドイン製品も特別にシリアルポートでユーザーを混乱させることがないため、ユーザーは簡単にこれらの 1 つを忘れてしまうのである。通常、シリアルシステムが同じポート割り当てを選択している場合には、混乱はそれを取り除くまで止まない。

シリアル接続の問題を分析する場合の第一歩は、システムの中のポートの数を数えることである。アドインシリアルボード、ポートが組み込まれているマルチファンクション製品、内部モデム、システムボードの標準装備のシリアルポート、シリアル接続を使用するマウスアダプタボードなどをすべてカウントする。

PC、XT または AT を持っていて、2 個を超えるポートがある場合には、少し考えなければならない。1 つが内部モデムである場合には、正当な行為として、これを COM3 として割り当てることができる可能性がある。多数の通信パッケージ

は、内部モデムと一緒に組み込まれているものも含めて、このCOM3を正当なポート割り当てとして認識する。ただし、DOSおよびパーソナルコンピュータはこのポートを認識しないため、DOSのMODEコマンドを使ってプリンタポートとしてアクセス可能にできない場合がある。一般には、DOSのMODEコマンドを使ってDOS上で直接モデムを操作することはないので、たぶんこのことには気が付かないだろう。

同様に、マウス／アダプタボードに付属のドライバソフトは、いつも使っているシリアル通信と衝突しないポートに、マウスインターフェイスを割り当てられるようになっていなければならない。

依然として2個を超えるポートが残る場合には、余分なポートは使用禁止にしなければならない。

割り込みは適切に割り当てられているか？

一部のシリアルボードには、ジャンパの設定を変えたりして、各ボードで使用する割り込みとシリアルポートを割り当てなければならないものがある。たとえばCOM1にポートが割り当てられたボードなのに、割り込みがCOM2に設定されていたり、自分で間違えてそのようにセットアップしてしまうと、シリアルポートは断続的にしか動作しないか、まったく動作しないことになる。

また、ほかの周辺装置が、シリアルポートに割り当てられるべき割り込みのどれかを使用しようとする可能性もある。たとえば、シリアルポートを使わないはずのテープバックアップシステムやバスマウスなどが、COM2シリアルポートから割り込み3を横取りしようとすることがある。

この状態のおもな徴候の1つは、ポートの動作が安定しないことである。使用しているほかのアクセサリしだいで、動作したりしなかったりするのである。もちろん、別の装置がシリアルポートを先取りして、その動作を完全に妨害することもある。

この問題を解決するには、すべてのポートの割り込みが重複していないかどうかを確認して、衝突があれば割り当てを変更しなければならない。PCおよびXTの場合はハードウェア割り込みが不足しているため、周辺装置にうまく割り当てるのは難しい。

ハンドシェイクが存在するか？

シリアルポートに割り込みやポートのアドレスの衝突がなく、ほかの装置であれば動作するようなのに、特定のシリアル装置と動作できない場合には、ハンドシェイクがないことが原因である可能性が高い。さらに、シリアルポートの不具合の症状が、システムが完全にロックされず、Ctrl－BreakやCtrl－Cなどの入力で、シリアルポートで行おうとしていたことを中断できる場合は、ほとんどそれが原因であるといっていい。この場合に想定されるのは、このシリアル回路のハンドシェイク配線が正しく行われていないということである。

特別なソフトウェアがないかぎり、一般に、PC、XT、ATまたはPS／2では、データをシリアルポートを使って転送する場合には、ハンドシェイクを行うことが必要である。また、DCE、DTEおよびケーブルのタイプが一致していない場合には、ハンドシェイクは必ず失敗する。

ハンドシェイクは、テストと経験という2つのアプローチの仕方で検証することができる。

テストには、電流電圧計（VOM）またはデジタルロジックプローブが要る。単純に、問題のシリアルポートに接続されているコネクタを調べて、DSR、CTSおよびCDピンで電圧あるいは論理状態を測定する。ハンドシェイク信号が存在する場合には、これらのピンのそれぞれに触れた時点で、通常5Vを超える正電圧が測定されるはずである。また、ロジックプローブのインジケータは、これらのピンに触れると点灯するはずだ。

経験的アプローチとしては、DSR、CTSおよびCDピンを直接DTRに接続して、ハンドシェイク信号が少なくとも回路のパーソナルコンピュータ側に存在することを確認する方法がある。この場合、必要なワイヤをはんだ付けするか（乱暴な解決策であるが動作する）、ブレークアウトボックスを使って実験を行うことができる。この調整後に、パーソナルコンピュータが異なった動作したり、少なくともキャラクタをいくつかシリアル装置に送信したかのように動作する場合には、ハン

ドシェイクの問題である（パーソナルコンピュータがデータを送信したような動作をしたのに、プリンタなどのシリアル装置が何も受信しなかったように動作する場合には、TXD および RXD 回線のクロスが必要であり、さらに、DCE と考えている装置が DTE である可能性が高い）。

文字が消えるか？

シリアル装置が正しく動作しているように見えるのに、送信されてきた中から文字がなくなっている場合には、フロー制御に問題があると思われる。一般にシリアルプリンタは、実際に読んでみるまでは、一見正しく見える文字をがたがたと打ち出しているが、このとき、文字、単語、文および段落全体が消えていることがある。復帰および改行キャラクタがコンピュータからプリンタに送信される途中で失われるために、行がマージン設定を無視することもある。

この問題は、ハンドシェイクの処理が追い付かないことによって発生する。受信側の装置に送られてきたキャラクタを処理する余裕がない場合に、ハンドシェイク信号が中断されるのではなく、ロックされてしまうのである。このため、プリンタが受信した内容を処理している最中であっても、コンピュータ側には、プリンタが次から次へとデータを要求しているように見えるのだ。

この場合は、フロー制御に使用している結線（CTS のことも、まったく無関係のもの、たとえば、DEC および NEC の 19 ピンなどであることもある）をチェックして、それがパーソナルコンピュータの DSR または CTS に接続されていることを確認する。さらに、シリアルシステムの両装置が同じフロー制御プロトコルを使用していることも確かめる。コンピュータがハードウェアの制御下でキャラクタを送信している一方、プリンタはフローを停止しようとして、XOFF を次々に無益に送信している可能性がある。プロトコルが一致していない場合には、文字が無くなる可能性が高い。

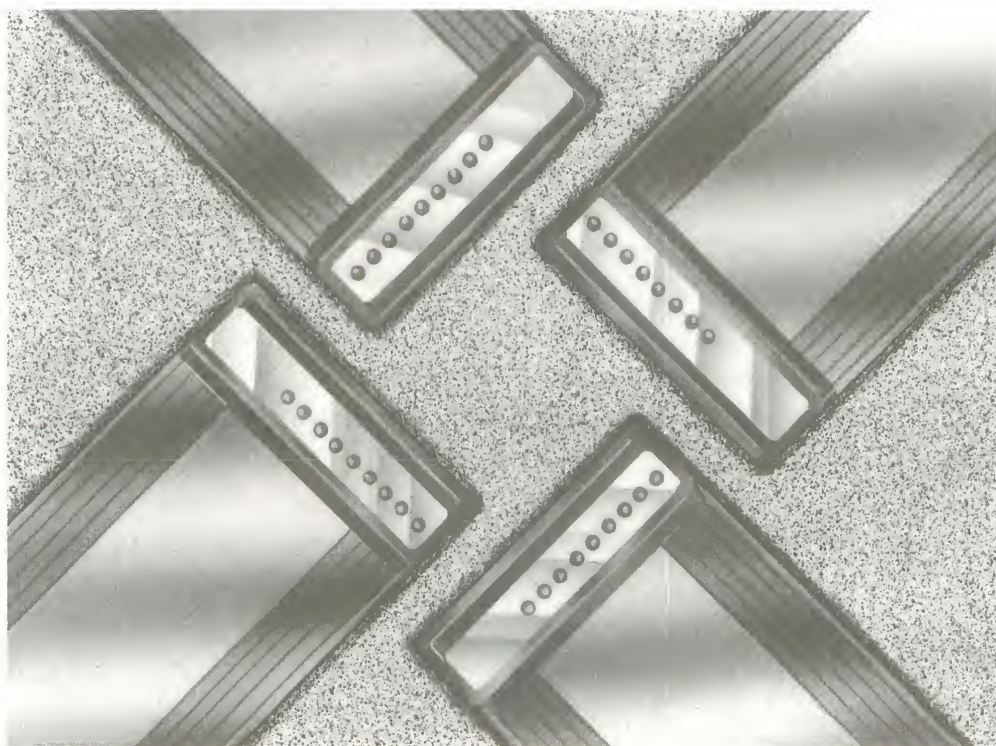
プリント作業が中断するか？

シリアルプリント作業が、たとえば最終ページをプリントする前など、途中で終了したり、突然、〝Device Timeout Error（時間切れエラー、デバイスからの応答がない）〟などのエラーメッセージを表示して停止する場合、その原因としては、シリアルポートのパラメータを設定するときに、MODE コマンドの終りに P パラメータを付け忘れているという単純ミスが考えられる。この場合、プリンタはコンピュータを満足させるに十分な速さで応答しないため、何かトラブルが発生しているとコンピュータに認識されてしまうのである。

意味不明のデータが送られる

シリアルシステムが、わけのわからない内容を生成する場合には、恐らく接続の両端でシリアルポートのパラメータが一致していない可能性がある。コンピュータはキャラクタをあるビット速度で送信しているが、シリアル装置のほうでは別の速度でキャラクタを受信するものと考えているかもしれない。同様に、接続の一方の端が偶数パリティを期待しているのに対して、コンピュータには奇数パリティが設定されていることも考えられる。これは、2 台の装置が同じ言語を話していないようなもので、混乱するのは当然だ。接続の両端で通信パラメータを一致させることが、この問題の解決策である。

第18章

モデム

キーボードの前に一人で座っているだけではなく、電話回線を通してほかのコンピュータと接続し、ファイルやプログラムや情報を交換することによって、コンピュータから大きな力を引き出すことができる。そして、今日のアナログ式の電話回線と、デジタル式のコンピュータを接続するために必要となるのがモデムである。モデムには速度や機能によってたいへん多くの種類がある。

モデムはコンピュータと接続する周辺機器の中では、最も切望され、実際、最も使用されてきた周辺機器であるといえるだろう。携帯型のコンピュータでは、どの機種をとってみても、モデムが接続できるようになっている。モデムはコンピュータの個性を外の世界に向けて示すことができる、コンピュータの機能の１つである。モデムがあれば、オンラインデータベースへの接続やコンピュータの遠隔操作ができるだけでなく、遠く離れた所に友人を持つこともでき、それを世界中に広げることもできるのだ。

モデムの役割と機能は単純で、説明はきわめて簡単である。モデムの役目は単にコンピュータと電話回線を接続させるだけだ。コンピュータも電話も、メッセージを作ったり移動させたりする方法が表向きはまったく同じであるため（どちらも電気信号を使用している）、余分にモデムのような装置は必要はないように思われるかもしれない。もし、例の巨大企業（あえて名前は出さないが……）が、コンピュータと電話を専門に扱っておらず、公然と競争関係にある企業もなかったなら、彼らが陰謀を企んで、コンピュータ市場に「モデム」などというものをわざわざ購入させようと、仕組んでいるのではないかと疑うかもしれない。

しかし、モデムとは何かという質問に立ち帰ってみれば、この機器の素晴らしさを見直すことになるだろう。様々な点で今日のモデムは、驚異的な仕事をこなしてくれる。たとえば、最先端のモデムは、１度に１ビットしか入らないような１本の電話線に、12 ビット以上ものデータを詰め込むことができる。安い普通のモデムでさえ、最先端のコンピュータと、これに比べれば石器時代のものといえるような電話技術の間にある、何世紀もの隔たりを飛び越えるタイムマシンとなるのである。

モデムは軍需産業組織による陰謀、はたまた、さらに邪悪な権力である電話会社によって画策された存在などではなく、デジタル信号とアナログ信号をつなぐ架け橋として、なくてはならないものである。また、最近のモデムは、これらを接続する以上の役割も果たしている。大部分のモデムは、高速かつ簡単に、そして自動的に使えるように、便利な機能が搭載されている。最近の最も優れたモデムは、回線接続や接続状態をモニターするだけでなく、接続そのものを改善してくれる。また、優れたモデムでは、人間の代わりに自動でダイヤルをしたり、リダイアルを繰り返す場合には、以前にかけた番号を記憶したりもできる。さらには、データを転送する際に、電気的な通信にどうしても入り込んでくるエラーを、内部の回路により検知し訂正することのできるモデムも出てきている。

18.1　モデムの働きの原理

モデムは、コンピュータと電話回線のネットワークとの間で行う通信を取り次ぐ信号変換器である。〝MOdulator（変調器）－DEModulator（復調器）〟の頭の数文字を取った〝MODEM（モデム：変復調装置）〟はまさにその果たす役割を表わした名前である。たとえば、モデムは変調器として、コンピュータシステムで使われるデジタルで直流のパルスを、そこに含まれる情報はそのままにして、アナログ信号に変換するのである。このプロセスを**変調**と呼ぶ。

変調と復調

電話のシステムは、エレクトロニクスが生まれるより以前に設計されたもので、半導体によるデジタルの回路が出てくるのは、その100年も後のことである。変調というプロセスが必要になったのはこのためだ。ベル博士が発明した〝喋る電報〟から最初に発せられた言葉は、アナログの電気信号で構成されたものだが、現在使われている電話の原理はこのときと変わっていない。厳密にいえば、デジタルによる通信の方が歴史は古く、電報は電話より30年ぐらい前に発明されているのだが（1884年Samuel F.B. Morseによって発明された）、現代のデジタル技術が生まれたのはごく最近のことである。

電話のシステムはアナログ信号だけを扱うように設計された。当時は、マイクロフォンから送られる信号を扱うだけだったからである。年月を経た今では、電話のシステムは精巧な国際ネットワークへと発展を遂げ、何百万ものアナログ信号を同時に扱うことができたり、1台の電話から世界中どこにある電話へでも切り換えができたりするようになった。電話会社は交換センター間を結んでいる、とても太いケーブルをデジタル式のものに変えつつあるが、かけたり受けたりする側の電話器は依然としてアナログ方式であり、少なくともまだしばらくはこれが続くと思われる。しかし将来的には、完全にデジタル化された電話システムに接続できるようになるのは間違いない。ISDNがその最初のステップである。しかし、現在においては、我々はまだアナログ方式の接続しかできない。

このようなアナログ方式の電話接続では、デジタル方式の直流信号の通過はきびしく制限されるか、またはまったく不可能であるため、変調というプロセス、そしてモデムという装置が必要になってくる。変調のプロセスを経て、コンピュータに入っていたデジタルの情報はすべてアナログ信号に変えられ、これによって電話システムの音声しか通さないチャネルを通過できるようになる。

復調とは、変調の逆のプロセスのことである。モデムは、接続の末端において、受け取ったアナログの信号を、自分の中で元のデジタル信号に戻す復調器としての役目も持っているのである。

キャリア

変調というプロセスでは、1つの信号をもう1つの信号の上に重ねていく。変調器としてのモデムでは、**キャリア**（搬送波）と呼ばれる連続信号を発生することから変調のプロセスが始まる。キャリアは変調によって情報を搬送することから、このように呼ばれている。大抵のシステムでは、キャリアは一定の振幅（強さ）と周波数を持ち、一貫した位相で、安定した状態の信号である。

変調

電気的にキャリアと混ぜ合わされ、キャリアの位相を変化させる信号についても、前述のプロセスと同じ**変調**という言葉が使われている。変調によって生じる変化は、キャリアと変調を混合した波の変化となる。変調による変化により、キャリアもそれに応じて変化するが、それは必ずしもキャリアの波形が相似的に変化するわけではない。たとえば、周波数変調（FM）では、変調の**強さ**が変化すると、キャリアの**周波数**が変化する。

変調には、信号を組み合わせた複雑な波形を調

整するほかに、いくつかの利点がある。電気回路では、特定の周波数のキャリアだけを受け入れて、ほかの周波数のものは拒絶することができるため、複数の変調された信号を、1つの通信メディアを通して送ることができる。この原理は、すべての無線通信や放送の基礎となっている。さらに変調によって、直流のデジタル方式の情報を、電話システムのような直流の信号を運べないメディアを通して転送することもできる。

復調のときにはキャリアは取り除かれ、コード化された情報は元の形に戻される。復調は論理的に見れば変調の反対のプロセスであるといえるが、通常、復調では変調とまったく異なる回路や処理原則があるため、モデムは複雑なものになっている。

短距離モデム

モデムと呼ばれているものの中には、実際にはモデムとはいえないものがある。価格の安い**短距離モデム**は、コンピュータとシリアルプリンタとの間の接続距離が延ばせるという触れ込みの装置であるが、最小限の回路は内蔵されているものの、信号を変調／復調することはできない。実際、短距離モデムはとても小く、その多くは簡単なケーブルコネクタのカバーに隠れてしまうほどの大きさである。短距離モデムを使ってできることといえば、コンピュータから出力されたデジタル信号を、ほかの形式のデジタル信号に変えて、1,000フィートもの長さのケーブルを通過しやすくすることぐらいである。短距離モデムと本当のモデムを混同してはいけない。短距離モデムは、公衆電話システム上では使用できないだけでなく、電話回線に接続することも法律では認められていない。

18.2　チャネルの限界

すべての芸術的ともいえる偉大な発明品と同じように、モデムも電話のチャネルというメディアの限界の中で働くことを強いられている。この限界は、アナログ通信の性質や、使用されている通信メディア（最初の頃はシールドされていないツイストペアケーブルが使われていた）によって否応なしに課されている。

信号の帯域幅

すべての通信チャネルとそこを通過する信号には、**帯域幅**と呼ばれる属性がある。帯域幅とは、単にチャネルが送信可能な、または信号に存在する周波数の最低値から最高値までの幅を指したものである。

変調前のキャリアの波形は、名目上の動作周波数を持っている。たとえば、ラジオ放送の名目上の周波数といえば、放送局にダイヤルを合わせるときの周波数ということだ。変調を加えない場合、キャリアの波形における周波数は1つしかなく、帯域幅は基本的に0となる。

キャリアに加えられる変調には、ある割合で変化する情報が含まれている。たとえば、音楽や声の信号といった伝統的なアナログ信号から成るソースには、20Hzから20,000Hzまでの、ほとんど無作為に混合された周波数が含まれている。デジタル信号は帯域幅が0の直流信号が源になっているが、デジタル信号の状態の変化が、周波数の成分に追加される。転送速度がbps（bit per second）という単位で表わされることから分かるように、状態の変化が速ければ速いほど、より多くの情報がデジタルのチャネルに詰め込まれ、信号の占める帯域幅が広くなる。

側波帯

最も単純な変調システムでは、変調されたキャリアは変調信号の2倍の帯域幅を必要とする。この2倍というのは変に聞こえるかも知れないが、信号を組み合わせたことがその直接の理由である。

キャリアに変調を加えると**変調波**ができあがるが、この変調波の周波数は、キャリアに**加算された**変調周波数と、キャリアから**差し引かれた**変調周波数を合わせたものである。加えられた結果の周波数はしばしば**上位側波帯**(USB：Upper Side Band)と呼ばれ、これに対して差し引いた結果の周波数は**下位側波帯**(LSB：Lower Side Band)と呼ばれる。

変調波の上位と下位の側波帯は基本的に重複しているため(まったく同じ情報を含んでいる)、どちらか一方を除去して、情報を減らすことなく変調キャリアの帯域幅を変調の帯域幅にまで小さくすることができる。このように帯域幅を節約する方法は、**単側波帯**変調(SSB変調：Single Side Band Modulation)と呼ばれ、限られた電波スペクトラムに、より多くの信号を詰め込むことができるので、一般的に放送で使用されている。

しかし、側波帯を小さくして信号を詰め込むとはいっても、そこに含まれている情報を保持するために、変調信号はいずれもある一定の範囲の周波数が必要であるという、基本的な事実はそのままである。この周波数の幅によって、変調信号が必要とする帯域幅が決まる。

チャネルの帯域幅

通信チャネルの帯域幅により、搬送する信号の周波数の限界が決まる。このチャネルの帯域幅は、チャネルで使用されているメディアによって物理的な制限を受けていたり、通信規格によって人為的な制限を受けていたりすることがある。たとえば、無線通信の帯域幅は法律で人為的に定められているが、これによって、より多くの異なる変調キャリアで空中の電波を共有できると同時に、それらの間で起こりうる混信を防止できるのである。

ケーブルを使う通信チャネルでは、帯域幅がケーブルそのものによって制限を受けることが多い。ケーブルが持つある種の物理的特性のために、ケーブル内で高い周波数の信号を伝送する力が弱くなってしまうのである。たとえば、2本のケーブルからなる伝導体の間には**静電容量**があるため、信号の周波数が高くなるにつれて、信号が減衰し、ついには数センチ先にも届かなくなってしまう。**増幅器**や**中継器**を使用して、より長い距離の伝送ができるように試みられているが、周波数が極端に高い場合と低い場合には、これらを使っても伝送できないことが多い。

ほとんどの電話チャネルもまた、電話会社によって人為的に帯域幅の制限が加えられている。伝送ケーブルやマイクロウェーブシステム、衛星などが持つ機能の経済的メリットを最大限に生かすため、通常、電話会社によって電話信号の帯域幅が制限されている。このように帯域幅が制限されているのは、一組の電話線で何百もの会話を同時に送信できるように、**マルチプレクス**技術を使って、たくさんの会話を重ね合わせているためである。また、同時にこの制限のために、電話ではステレオのような良い音質が出せない。電話会社の多重送信装置はたいへんよくできているため、通常は、このようにたくさんの声の信号を細い電話線に詰め込むとともに、音声信号を加工して伝送していることには気が付かない。

帯域幅の制限

電話会社では通常、電話チャネルの帯域幅を厳格に制限して、電話信号の加工を行っている。ステレオのシステムは20Hz～20,000Hzの周波数をいっぱいに使って、良い音質を実現しているのに対し、電話のチャネルでは300Hz～3,000Hzの周波数しか自由に通ることができない。電話の帯域幅はこれだけしかないのだが、300Hz以下の周波数は人間の声では強さの部分であり、**明瞭さ**とはほとんど関係がないため、電話においては支障はない。また、3,000Hz以上の周波数があると音の歯切れが良くなるのだが、この部分がなくても一応明瞭には聞き取れる。

声を使ったコミュニケーションでは、ほとんどの場合、明瞭さが最も重要な要素となるのに対し、データ転送において最も重要なのは帯域幅である。普通の電話チャネルでは、帯域幅が比較的狭いため、送ることのできる変調信号は制限を受ける。これはいいかえれば、デジタル情報の場合も、モデムによって電話回線に詰め込むことのできる情報量は制限を受けるということである。

簡単な計算を行ってみると、モデムの信号を送る

際に厳しい制限を受けていることが理解できるだろう。電話のチャネルは、2,700Hzの帯域幅（300Hzから3,000Hzまで）が使用できるようになっている。電話チャネルの真ん中（1,650Hz）に位置するキャリアは、両側の側波帯から制限を受けており、せいぜい1,650Hzの速さで変化するデータしか搬送できない。この場合の信号は電話チャネルの全帯域幅を占有し、しかもそれにはセーフティマージン分は含まれていないのである。

シャノンの限界値

アナログの電話回線を通して送ることのできるデータの総量は、チャネルの帯域幅とそのチャネルのノイズレベルといった2つの要素により決まる。ノイズが大きければ大きいほど、情報はノイズに抵抗するのが難しくなる。このデータ転送率における論理的な最大値を「**シャノンの限界値**」（C.E.Shannon：アメリカの応用数学者）という。今日の双方向ダイヤル式電話接続方法では、理想的な状態であれば、この限界値は19,200bpsに達する。しかし、現実的な問題とモデムのハードウェアによって、実際のデータ転送率にはさらなる制約が課されている。

セーフティマージン

電話回線の品質は良いものから悪いものまで様々であるため、特に長距離接続の場合などは、セーフティマージンが必要となる。接続状態が悪い場合は、300～3,000Hzとされている電話の帯域幅の全部は使えないため、モデムがこの全範囲の周波数を利用しようとするのは浅慮である。接続状態の悪い場合に、モデムのデータ転送率が帯域幅の限界まで達していると、エラーが発生しやすくなるのだ。

全二重通信

モデムを使ったデータ通信のチャネルでは、使用できる帯域幅も制限を受けているが、これはモデムの通信が**全二重通信**（**二重通信**）モードで行われているからだ。全二重通信とは、通常は（必ずというわけではない）双方向へ進む2つの信号を、通信チャネルが同時に処理できる通信方式である。この2つのチャネルを使用しているため、全二重モデムは同時に情報を送受信できるのである。データを同時に送受信するため、2本のキャリアが使われており、したがって当然のことながら、それぞれで使用できる帯域幅は全体の2分の1である。

半二重

全二重通信に代わる方式が**半二重通信**である。半二重通信モードでは1つの信号しか使用されず、双方向の通信ができるように、モデムは信号の送信と受信を交互に行なっている。半二重通信モードでは、全二重通信より広いチャネル帯域幅を使用できるが、実際に使用した場合、チャネルの中をデータブロックが通るたびに送信と受信を交互に切り換える必要があるため、通信速度は遅い。

エコープレックス

二重通信（デュプレックス）という用語は、誤って**エコープレックス**と表記されることがしばしばある。エコープレックスとは、モデムがあるキャラクタを電話回線を通して送信すると、回線のもう一方の端にあるモデムが同じキャラクタをこだま（エコー）のように送り返してくることを指す。こだまのように送り返されたキャラクタは、最初に送った側の端末に表示され、そのキャラクタが正確に送られたことが確認できる。エコープレックスのない場合は、通常、ホストコンピュータが送信したキャラクタを直接モニタ画面に書き込んでいる。

保護帯域

全二重通信では、帯域幅を分割して、半分ずつを両方のチャネルで使用できるようにしているだけではない。チャネルを2つに分割している部分を**保護帯域**と呼んでおり、この使用されていない周波数の部分が、実際のチャネルを2つに分離し、それぞれのキャリア間での混信を防いでいるのである。また、このセーフティマージンは、キャリアと帯域幅の変動する境界との間の保護帯域にもなっている。

実際の電話チャネルでモデム通信を行う場合、この全二重通信の保護帯域のことを計算に入れる

と、もともとは2,700Hzある帯域幅は、実質的には約2,400Hzが限界ということになる。つまり、2つあるチャネルは、それぞれ1,200Hzずつの割り当てになる。

18.3 モデムの変調方法

モデムが変調を行う場合、FMとAMのラジオ局で変調方法が異なるのと同様に、いくつかの変調方式が使用されている。変調方式の違いは、情報をコード化するために変化を加えられるキャリアの性質によって生じる。

変調に利用されるキャリアの基本性質は、振幅、周波数、位相の3つである。

振幅変調

振幅とは、電話回線を通って搬送される信号の強さ、または音の大きさのことである。キャリアの強さを変調によって変化させて、情報を送る方式を**振幅変調**という。

デジタル情報を振幅変調でコード化する1つの方法としては、2つのデジタルの状態に対応して、信号の強さを2つ別々に作るというものだ。実際、振幅変調で最も初歩的な形のものは、**キャリアウェーブ**または略してCWという特別な名前が付けられているが、コードに合わせて、最大と0というキャリアの強さの2つの限界値を用いている。電話信号の強さを変化させるのはきわめて簡単だが、同時に回線に入り込んだ雑音まで変化させてしまう。このため、モデムでは純粋な振幅変調というものは使われていない。

位相変調

キャリアの状態を変化させて情報をコード化するもう1つの方法として、位相を用いるものがある。変調前のキャリアは同じ波形がずっと同じ形で、1つずつ正確に続いている。ある1つの波形がちょうど1波長分ずれると、次の波形にぴったりと重なる。波形の山と谷の部分は一定の間隔で続いていくのである。

振幅や周波数は変化させずに波形の1つを遅らせると、**位相偏移**と呼ばれる検出可能な波形状態の変化が作り出される。この一定時間遅らせた波形の開始点を、もとの波形と比較して、もとのキャリア波形を数字の0へ、別の波形を1へ割り当てることによって、情報は**位相変調**という形でコード化することができる。位相変調の特別な形として**直交変調**と呼ばれる方式があるが、これは信号の位相を90°の単位で変化させる方法である。つまり、直交変調では、変調前のキャリアと比べて、位相の角度が0°、90°、180°、270°の率で異なるということだ。この変調方式はモデム通信において便利であるが、多くの場合ほかの変調方式と組み合わせて用いられる。

周波数変調

次にあげられる変調方式として、変調に合わせてキャリアの周波数を変えるというものがある。たとえば、変調信号の振幅を高くすると、キャリアの周波数も高くなるのである。この技術は**周波数変調**と呼ばれ、FMラジオ局の放送で一般的に使用されている。

周波数偏移変調

周波数変調の最も初歩的なデジタルの形式では、デジタルの1を表わすために、キャリアの周波数を別の周波数へ変化させる。つまり、ある周波数はデジタルの1を表わし、これとは別の周波数がデジタルの0を表わすということだ。この変調方式は、周波数を偏移させて情報をコード化していることから、**周波数偏移変調**(FSK:frequency shift keying)と呼ばれる。名前の〝key〞の部分は、電信の時代、実際にこの変調方式がモールス信号を送るのに使われており、電信のキーをたたいて周波数偏移を行っていたことから付けられたものであ

る。周波数偏移変調は、一般的なモデムで最も初歩的なタイプのものに使用されている。Bell 103規格に沿って作られた300bpsのモデムがこれにあたるが、以前はどこででも見ることができた。

ボーレート

このようなモデムでは、1ビットのデータによって、これに対応するキャリアの周波数の変化が1回発生する。周波数や状態が変化する度に、正確に1ビットの情報が運ばれる。1秒間に起こる状態変化の数を表すのに使われる計測単位が、**ボー(baud)**である。FSK変調の特別な場合では、1秒あたり1回の変化、つまり1ボーという単位で、正確に1秒に1ビットの情報が運ばれる。

通信システムに使用されている状態の数によって、1回の変化(つまり1ボー)によって運ばれる情報が1ビットより少ない場合も多い場合もある。たとえば、いくつかの異なる周波数を持っている音が、コード情報に使用される場合などがそうである。1ボーでは、ある周波数から別の周波数へ1回変化するが、その際ほかの変化も生ずることがあるため、1ビット以上の情報がコード化されることもあるのだ。したがって、厳密にいえば、1ボーと1bpsは別の単位ということになるが、これらの用語は誤って同じように使われていることも多い。

1ボーごとにコード化できるビット数は、使用できる状態(音、電圧、位相)の数の対数に反比例して変化する。大部分の1,200bpsモデムは、4つの異なる状態を使用して600ボーで動作し、同様に、大部分の2,400bpsモデムは、16個の異なる状態を使用して、同じく600ボーで動作する。

〝ボー(baud)〟という用語に興味を持った人もいるかもしれないので述べておくと、これはフランス人で電信の専門家であった、J.M.E.Baudotの名前から付けられたものである。彼の名前はテレタイプのシステムで使用される5ビットのデジタルコードを表わすのにも使用されている。

FSKモデム

単純なFSKの技術を使用して300bpsの速度を出すためには、600Hzの帯域幅が必要である。この300ボーのキャリア2つ分(600Hzの2倍で1,200Hz必要)と、広い保護帯域は2,700Hzの範囲にうまく納まる。

Bell 103規格はほとんどの300bpsモデムが準拠しているが、キャリアの周波数は2つあって、1,200Hzと2,200Hzである。スペース変調(論理0)では、キャリアを150Hz分下へシフトさせ、マーク変調(論理1)ではキャリアの周波数を同じ分だけ引き上げる。

FSK変調の技術は比較的単純なため、300ボーのモデムは一般に安い値段で購入できる。300ボーのモデムでは、使用できる帯域幅の限界までは使用しないため、最低限の接続状態であれば一般的には信頼できる。

同じ単純な変調技術を使用して、普通の電話回線における2,700Hzの帯域幅をもっと有効に使用することによって、モデムの速度を倍の600ボーにまで高速化することが可能である。しかし、これ以上に高速化するには、固定された帯域幅という障害が横たわっている。

18.4　高速モデム

データ転送率が2,400bpsを越えるモデムは、一般に**高速モデム**と呼ばれている。このモデムの特長は、データの量だけでなく質にもある。2,400bpsを越えると、より多くの情報を電話回線にむりやり詰め込むことになるため、かなりの困難を伴うのだが、このため、低い転送率のモデムには見ることのできない工夫を凝らした変調技術が必要となる。

グループコーディング

データ通信においては、300bps という速度はモデムの中でもほぼ最低速といえるもので、画面を流れていくテキストをそのまま読むことができる程の速度である。最も低速のコンピュータでさえ、IBM がサポートしているシリアルポートの速度によって制限を受けても、最低この 32 倍は速く情報を吸収することができる。遠距離の通信で 300 bps でしか接続できないような場合、情報は大陸をのろのろと這って移動しているようなもので、喜ぶのは電話会社の株主だけだ。

いくつかの変調技術を組み合わせることで、一般の電話回線を使っても、モデムはもっと速い転送率を達成できる。単に 1 つの方法でキャリアを操作するのではなく、一定の波形を 2 つ(またはそれ以上)の方法で変調するのである。たとえば、今日最も広く使用されている 1,200bps と 2,400bps モデムでは、周波数変調と位相変調を組み合わせて、より高速なデータ転送率を達成している。

このように変調方法を複雑に組み合わせても、帯域幅が余計に必要になるということはなく(これは通信チャネルの機能であることを思い出してほしい)、様々なキャリアの状態の変化として多くのデジタルデータをコード化する上できわめて有効である。たとえば、キャリアは、4 つの状態のうち 1 つの状態を帯びるように、位相変調を直交変調と組み合わせて変調させることができる。

この 4 つの状態によってモデムの速度が 4 倍になると期待されるかもしれないが、そのように直接的な関係にはなっていない。状態をデジタル情報に変換するため、モデムでは**グループコーディング**と呼ばれる技術が使われており、この技術では、1 つの状態で特定のパターンを形成するビットをコード化するのである。たとえば、異なる 4 つの位相の状態で、2 つのデジタルビットから成る、異なる 4 つのビットパターンをコード化することができる。したがって、4 つの状態を持つ直交変調の場合、ひとつひとつのボー(1 回の変調)で、2 ビットから成る 4 つのデータパターンをコード化できる、つまり、4 つの状態で 2 つのビットをコード化するのである。このようにして、直交変調を使った 600 ボーのモデムでは、ボーレートを 2 倍にして 1,200bps として使うことができるというわけだ。

グループコーディングは変調技術を発展させる 1 つの鍵となっている。データを一度に 1 ビット扱うのではなく、デジタルコードのビットをグループとして処理するのだ。そして、データビットのグループひとつひとつは、キャリアのある特定の状態としてコード化されるのである。

モードの最高速度はコード化に使用できる状態の数によって決まる。しかし、その関係は単純なものではない。コードにおけるビット数が何倍かに増えると(変調技術の潜在的に可能な速度も同じ数だけ倍に速くなる)、それに必要とされる状態の数は 2 をその倍数分だけ累乗した数になる。つまり、速度を 2 倍にするためには、4 つの状態が必要になり、速度を 4 倍にするには、16 の状態が必要であり、8 倍の速度では、256 の状態が必要となってくる。

データ転送率が 2,400bps の場合は、600 ボーで 16 の状態を使った直交変調より、ずっと複雑な変調方法が必要となる。ひとつひとつの状態で、4 つのデジタルビットから成る、異なる 16 パターンのひとつがコード化される。電話回線における 1 ボーは、モデムへと入る 4 ビットの情報を搬送している。

システムが無意味に複雑な変調方法を取っている場合、そのシステムは欠点を持っているに違いない。高速モデムにおいて、データ転送率が高くなればなるほど、電話回線の問題は重大なものになってくる。さらに、モデムの速度が速くなると、回線が含む雑音によって余計な情報を生み出してしまい、1 つのエラーからでも、すぐに大きな影響が出てしまうことがある。

リース回線モデム

モデムから高い速度をうまく引き出す方法として、厳しい帯域幅の制限を受けている接続(つまり電話回線)の一部を専用に使うという方法がある。品質の高い回線を電話会社から借りて使うことが可能で、これで 2 つの地点を結び、信じられないほど高速に(1 万から数百万 bps といった速度で)データを送ることができる。この回線は半永久的

に設置され、2つの地点を直接結んでいるが、電話交換システムの苦難の道を通り抜けるという危険は冒さない。この特別な回線は月単位で（あるいは別の期間単位で）リースされていることから**リース回線**と呼ばれ、この回線で使用できるモデムのことを**リース回線モデム**または**専用回線モデム**という。このモデムでは普通、ダイヤル機能や応答機能が付いておらず、連続して接続され続けることを前提に作られている。

公衆回線モデム

一方、電話交換システムに接続する形の最も一般的なモデムを、リース回線モデムと区別して、**公衆回線モデム**（ダイヤル呼び出しモデム、ダイヤルアップモデム）と呼んでいる。公衆回線モデムは電話回線の厳しい制限を受けているため、そこでの問題や欠点をうまく処理する機能が必要である。しかし、回線の両端にあるこのモデムに互換性があれば、ほとんどあらゆる所へ誰とでも接続ができるため、一番便利なモデムといえる。

回線の補償

長距離電話をかけるとき、音声はずっと変わっていないように聴こえるかもしれないが、電気的な性質は一瞬ごとに変化している。たとえば、風が吹いてケーブルに影響が出た場合など、電話会社は自動的に回線のルートを変えたり、振幅、周波数、位相を変化させたりして回線を維持している。モデムでは、このような変化をデータと誤解しないようにすることと、回線が高速転送に使用できるような良い状態を維持するという2つの点が重要である。

スイッチングモデム

高速モデムを使った通信では、全二重モデムを使用した高速通信が最も大きな制限を受けるといえる。完全な二重モデムの回路は、基本的に2つの完全なチャネルであるため、各チャネルは電話回線で使用できる帯域幅の半分しか使用できない。しかし、ほとんどの場合、通信は一方向にしか進んでいない。リモートアクセスシステムに向けてコマンドを入力しても、探している情報について応答があるのは、そのコマンドをシステムが受け取ってからということになる。片方の端末からデータを送っていても、もう一方では何もせずにいるわけである。

使用できる帯域幅を有効に利用するため、**スイッチングモデム**と呼ばれるものがある。このモデムは、電話回線の全帯域幅が利用できるように、どちらかの端末に信号を送る必要ができると、それに合わせて信号の進む方向を切り換えるようになっている。したがって、このモデムでは、変調方法を複雑にすることなくデータ転送率を2倍に高めることができるのだ。離れた場所にあるメインフレームにアクセスする場合では、両方の端末が交互に電話回線を使用しながらそれぞれの呼び出しプロトコルに合わせており、モデムを切り換えて使用することにより、2つの国を横断して通信できるほどのスループットが実現できる。

非対称モデム

しかし、スイッチングモデムは便利なことばかりとは限らない。通信方向の変更が瞬時に行えないことがその1つだ。スイッチングモデムでは、連続するデータの切れ目を聞き取って方向を変える方法しかなく、この切れ目を認識するために生ずる遅れが、データの流れの中にどうしても存在してしまう。さらに、通信方向が変わったとき、モデムは回線の違い（電話回線の接続状態は両方向でまったく同じとは限らず、2つの通信方向がまったく異なる通り道を採っている可能性もある）に対応して、それぞれに合わせる必要が生じる場合もある。これらに必要な時間を合わせると、方向を変える場合、まるまる1秒を消費することにもなる。

単に文字を送信したり画面上でレスポンスを見たりしている場合には、1秒という時間はそれほどわずらわしく感じることもないだろうが、1つのファイルを送るときなどは、いやになってしまうこともある。ほとんどのファイル転送プロトコル（例：XMODEM、Kermit）では、データを小さなブロック単位にして、離れた場所のシステムに送るように設計されている。そこでは、データを正確に送信できるようなチェックがなされてお

り、ブロックが送られた後に、データがエラーなしで送信できたか、またはエラーがあったかを示すメッセージを送り返す仕組みになっている。スイッチングモデムでは、方向の転換やエラーの確認をするために、1秒、またはそれ以上の時間を要することもある。このようなプロトコルでは、エラーチェックの合間に、256バイトまたは512バイトの短い長さのブロックで送信しており、大急ぎでブロックを送信しては、チェックのために送信を止めるということを繰り返して1つのファイルを送るのである。モデムでは、何行かに渡るブロックを送信し、その後、その送信時間よりずっと長い時間をチェックのために費やしているのである。

非対称モデムでは、高速のチャネルだけでなく低速のチャネル（通常は300 bps）も設けて、**片方向だけの**速度を最適化する一方、2つの技術の良い点を合わせて、双方向二重通信のような方式をとって、この待ち時間を短縮している。スイッチングモデムと同様に、非対称モデムでも高速通信の方向を切り換えることができ、切り換えについては、どちらの方向を選択すべきかについてのアルゴリズムに従っている。一般に、高速チャネルはデータのブロックを送るのに使用され、低速チャネルはこれより速度が遅くてもよいチェックのために使用されている。この機構が使われている例として、FAXモデムがある。

フォールバック

二重通信を行う場合、大抵のモデムで使用されているキャリアは多くて2本である。このキャリアは普通、使用できる帯域幅のいっぱいまで変調されている。しかし電話回線で、モデムが望むだけの帯域幅で通信すると、信頼性に欠ける場合もある（エラーが出やすくなることがある）。このような場合、大部分のモデムでは、フォールバック機能を働かせている。一番速いスピードで使えない場合、通信速度を落として、電話回線の状態が悪くてもなんとか使用できるようにしているのである。両端末のモデムが最初に9,600bpsで通信しようとしてうまくいかなかった場合には、次に4,800bpsで接続を試み、それでもうまくいかないときは2,400bpsという順で、信頼に足る通信ができるように速度を変化させている。

多重キャリアモデム

大部分のモデムでは、高速な通信速度を得るために、変調において1本または2本のキャリアを使用して、比較的複雑な方法を用いているが、最新のモデムの規格である**多重キャリアモデム**が現れたことで、今までの概念は歴史的事実として過去へと追いやられた。多重キャリアモデムでは、同時に数本のキャリア上の信号を比較的単純な方法で変調している。接続状態が悪くなった場合にこの方法が有利になってくる。多重キャリアモデムでは、フォールバックのように通信速度を落とす（通常、半分の速度にする）ことはせず、帯域幅中で疑わしい部分にあるキャリアの使用を停止するという方法を採っている。この場合の通信速度は、調整時間のために数パーセント低下するだけである（普通のフォールバック機能付モデムでも、速度変更の調整時間によって速度は低下する）。

データ圧縮

電話回線で送り込む情報のビット数を、チャネルの容量を超えて増加させることはできないが、各ビットにより多くの意味を持たせる（より少ないビット数で1つの情報を表わす）ことにより、モデムの回路の情報処理能力を増加させることが可能である。通信のチャネルを通して送られる各ビットの多くは、無意味であったり、重複したものであるため、運べる情報量には限界がある。しかし、この価値のないビットを取り除くことで、送られるデータの情報内容はより密度が高くなり、ビットはより意味を持つようになる。この余分なビットを削り落とすプロセスを**データ圧縮**という。

データ圧縮の効率は、送られるデータの種類によって異なる。最も良く知られているデータ圧縮の方法では、同じバイトが8つ続く場合、2バイトでコード化する。1つ目のバイトで数値を表わし、2つ目のバイトでそれがいくつ続いているかを表わすのである。この形式のデータ圧縮は、グラフィックデータにおいて最も効果があるが、これは、グラフィックデータがテキストの繰り返しか

ら成るたくさんのブロックで構成されていることが多いためである。ほかの圧縮方法には、スタートビット、ストップビット、パリティビットを取り除くものなどがある。モデムメーカーがよく、自社独自の圧縮方法ならビット数を50%も大幅に削減でき、通信速度を2倍に高めて効率を上げることができると主張している。

データ圧縮が行われる場所は、必ずしもモデムの内部だけに限定される必要はない。たとえば、データをモデムへ送る**前**に、コンピュータ内部でファイルを圧縮することもできる。ファイルを半分のサイズに圧縮すると、ファイルの送信時間も半分になる。**ファイル圧縮**は、ファイルのデジタルコードの無駄な部分を削除し、最初のファイルサイズの数分の1にまで圧縮するものである。もとの内容はちょうど乾燥スープのように、簡単に保存でき、必要に応じてもとに戻すことができる。

記憶装置の容量を増やしたい場合にも、データ圧縮を利用することができる。プログラムを販売している会社では、データ圧縮を使って使用するフロッピーの容量をおよそ2倍にすることで、販売にかかるコストを減らすことができる。また、ハードディスクの容量が足りなくなっているユーザーも、ハードウェアをアップグレードする代わりにデータ圧縮を使用すれば、数千ドル必要なところが数ドルですむのである。データ圧縮のプログラムはほとんどすべて、複数のファイルをアーカイブファイルと呼ばれる1つのファイルにまとめることができ、どのファイルがどのアーカイブファイルに入っているかチェックできるようにユーティリティファイルを提供する（オプションのこともある）。

記憶スペースが貴重な場合や、データ転送の時間を短くしなければならないようなケースでは、ファイルの圧縮は普通に使用されるようになっている。たとえば、電子掲示板では、ほとんどのファイルがアーカイブで登録されており、登録する場所を最大限有効に使う工夫がなされている。アーカイバによる圧縮データを初めて利用したのは、電子掲示板を通してデータが供給される**シェアウェア**だった。シェアウェアは供給されるときは無料だが、継続使用や商業使用の場合は、相応のライセンス料を支払う必要があった。このようなシェアウェアの作者は、その良さが口コミで宣伝されるのを期待していたわけだ。電子掲示板のオペレータやユーザー以外の人々にも、ファイル圧縮プログラムの便利さが知られるようになるとともに、ソフトウェア会社もファイル圧縮プログラムのサプライヤとして名を連ねるようになっている。彼らは、可能な限り圧縮率を高めるアーカイブ用ユーティリティを開発することで、主流の動きに参加すると共に、特定のアプリケーションソフトに合わせた圧縮プログラムの作成も行っている。

System Enhancement Associatesの開発した「ARC」は、電子掲示板において最も広く受け入れられた最初のファイル圧縮プログラムであった。ARCは1985年に紹介されて以来、何度となく改訂を繰り返し、シェアウェアとして供給され続けてきた。ARCには2種類の圧縮方法があり（連続するキャラクタの圧縮とダイナミックなLempel－Ziv圧縮）、ファイルによって最も効果的な方が使用される。ARCを使った圧縮ファイルは、そのファイル名の最後に、〝.ARC〟という拡張子が付く。

多くの電子掲示板では、競合製品であるPKware Inc.の「PKzip」の出現により、ARCが使用されなくなってきた。その理由は様々で、SEA社が法に訴えて（商標問題）PKware社に対抗しようとした態度に対する反発であったり、PKzipの方がより高速で、圧縮率もよく、用途が広いとの判断からであったりする。ARCと同様に、PKzipもシェアウェアとして供給されている。

データ圧縮に使用するアルゴリズムは、圧縮プログラムによって異なり、多種多様な方法の中から、それぞれが特定の技法を用いてファイルを圧縮を行っているため、必然的に圧縮後のファイルのフォーマットは異なる。圧縮プログラムによっては、ファイルの圧縮フォーマットに互換性があるものもあるが、圧縮ファイルがほかのプログラムで解凍できるという保証はない。

注意しなければならない点は、ファイルは一度圧縮されると、さらにそれ以上圧縮することはできないということである。したがって、モデムに圧縮機能（MNP5、v.42bisなど）が内蔵されている場合、前述のような圧縮プログラムでもう一度

圧縮するということはできない。実際、MNP5を使って圧縮済みのファイルを送信しようとすると、MNP5を使わない場合よりも送信時間が長くかかってしまう。このように、圧縮プログラムのソフトウェアは、モデム側のデータ圧縮を補うものではなく、どちらか一方を選んで使用するものである。

エラーチェックとエラー訂正の方法

高速モデムを使う場合、電話チャネルのほぼ限界まで使用しているため、必然的にデータエラーが発生しやすくなる。この問題に対応するため、高速モデムではほとんどの機種が**エラーチェック機能**(送信時のエラー検出のみ)と、**エラー訂正機能**(エラーを検出し、コンピュータへ入る前に誤りを訂正する)を搭載している。このエラーチェックやエラー訂正の機能は、通信プロトコルのように働き、データをいくつものブロックにグループ化して送信すると同時に、CRC(巡回冗長検査)用の情報を送信している。これらの機能を通信ソフトで使用するプロトコルと比べると、ソフトウェア側ではなくハードウェア側で実現されているという点が異なっている。これは、コンピュータがシリアルポートの限界であくせくしているときに、さらに余計な負荷がかかるというわけではないということだ。

またこれは、ソフトウェア側のプロトコルはモデムの持つ機能と重複しており、時間の無駄であるということも表わしている。スイッチングモデムのケースで述べたように、ソフトウェアベースの通信プロトコルは、多くの高速モデムでは逆効果になって、転送速度を低下させてしまうことがある。エラーチェック機能の付いたモデムのメーカーのほとんどは、このようなソフトウェアベースのプロトコルを使用しないようにアドバイスしている。

モデムのエラーチェックやエラー訂正の機能を使う場合、両方の端末で、まったく同じエラー処理のプロトコルを使用する必要がある。実際、2つのモデムを通信させるために、多くの標準規格が開発されている。今日、最も広く使用されている標準規格は「MNP4」と「v.42」で、これらについてはこの後の項で説明することにする。また、「LAPB」や「LAPM」という2つの略語も、エラー処理の方法を表わした用語としてときどき目にしているはずだ。

LAPBとは、Link Access Procedure, Balancedの頭文字を取ったもので、このエラー訂正プロトコルは、TelebitやTymnetなどのような、X.25パケット交換サービスのために設計されたものである。一部の高速モデムメーカーは、v.42の規格が認められる前は、公衆回線モデム用にこの規格を採用していた。たとえば、Hayes Microcomputer Productsの「Hayes Smartmodem 9600」には、LAPBのエラー制御機能が搭載されている。

LAPMはLink Access Procedure for Modemsの頭文字を取った略語で、CCITT v.42規格に使用されたエラー訂正プロトコルである。

18.5 モデムの規格

人間もモデムも単独では生きてゆけない。どちらも自分以外のものとコミュニケーションをはかり、互いに考えを共有しなければならない。モデムが1台しかなければ、ちょうど地方新聞の編集者に手紙を送るようなもので、二度と目に触れる(耳にする)ことのない未知の莫大なアナログデータを送るだけということになる。

しかし、2台のモデムがあっても、それで十分ということにはならない。人間と同じで、相手の言っていることが理解できるように、モデム同士は同じ言葉で会話をしなければならない。変調はモデムの言葉の1つである。さらに、モデムはお互いが使用しているエラー訂正機能やデータ圧縮の手順を理解し合う必要がある。モデムが人間と

違うところは、人間が、方言などのように、1つの言語として境界が多少曖昧な言語まで含めて使っているのに対し、モデムの場合は、人間の言語よりはるかに正確で厳密な言語を使っていることにある。モデムには、人間でいえば〝フランス語教室〟のような、標準規格の組織を持っている。

米国では、最初の標準規格は、コンピュータ通信業界における最も大きな権力である電話会社によってかなり昔に定められている。つまり、AT&TとBell Systemが、「Bell 103」や「Bell 212A」などで知られる様々なBell規格を設定したのである。その後、Bell Systemは分割され、AT&Tへ吸収されたり、地域ごとに運営する7つの会社(Baby Bells：この状況は〝AT&Tと7人の小人〟に例えられている)へ形を変えた。これにより、長距離通信の分野はAT&Tの独占となった。また同時に、驚くにはあたらないが、ほかの国々でもコンピュータ通信への関心が高まっていった。

このようなコンピュータ通信における発達の結果として、規格設定はAT&Tの手から国際標準機構であるCCITT(国際電信電話諮問委員会：仏語のComite Consultatif International Telegraph and Telephone et Telephoneiqueの略。英語ではInternational Telegraph and Telephone Consultative Committee)に移った。今日の高速モデムに使われる規格はすべてCCITTによって勧告されており、近い将来までこれが続くだろう。CCITT規格には、v.22bis、v.32、v.32bis、v.42、v.42bisなどがある。

これに伴い、モデムおよびソフトウェアのメーカーであるMicrocomは、MNP4、MNP5などの、〝MNP〟の文字を頭に記した一連の規格を開発した。MNPとは〝Microcom Networking Pro tocol〟の頭文字を取ったものである。

モデムを購入する際に、規格は重要なポイントとなる。購入しようとするモデムが世界中のほかのモデムとうまく接続できるかどうかは、規格によって確認するのが最も適切であるからだ。さらに、データ転送の速さや信頼性は規格によって異なる。どのような通信を望んでいるかによって、モデムの種類を選ぶ必要がある。会社間でファイルのやりとりをするだけなら、規格外のモデムでも十分で、余裕があるなら速度の速いものを選べばよい。しかし、世界中を相手に通信をする場合は、国際規格に合ったモデムを選ぶ必要がある。以下の項で、最も良く知られているコンピュータ用モデムの規格を説明する。

Bell規格

Bell 103はモデムの規格を説明する際に、まず最初にあげられる規格である。これは、アルファベット順で先にあるからではなく、最初に広く採用された規格であるためだ。また、この規格は、ほかのどの規格でも通信できなかった場合に、最後の手段として使用される規格でもある。Bell 103でのデータの転送速度は非常に遅い。前に述べたように、Bell 103では、非常に単純なFSK変調(周波数偏移変調)が使われており、ボーレート(信号の変調速度)がデータ転送率と等しくなる唯一の規格である。

Bell 212Aは、米国内において広範に適用されることを目的に、Bell 103に検討を加えて設定された次なる段階の規格である。この規格では、周波数変調を行われた600ボーの信号に、さらに直交変調を加えることにより、1,200bpsのデータ転送率が達成されている。したがって、Bell 212Aモデムは600ボーで動作し、1,200bpsの転送速度で情報を送るのである。Bell 212Aは、一時は通信規格として米国で最も広範に使用されたが、国外の多くでは使用は禁止され、代わりに国際規格であるv.22のほうが用いられている。

MNP規格

MNP(Mocrocom Networking Protocol)は、設定が完全に階層化されている規格であり、MNPクラス1(現在では使われていないエラー訂正プロトコル)に始まり、MNPクラス10(接続状態が悪くても、最大の転送性能が発揮できるような設計)までである。MNPはその規格だけでは成り立つことができず、ほかの規格に準拠したモデムに組み込まれるものである。MNP規格は、転送率ではなく、その技術によって階層化される。MNPクラス2からクラス4までのエラー制御方法は一般に公開されている。また、クラス5からクラス10

までは、モデムについて多数の操作パラメータが含まれており、Microcomよりライセンス公開されている。

MNP2は全二重通信ができるものならば、どのモデムにも組み込むことができる。MNP2では、受信側のモデムに各キャラクタをエコーバックさせることで、送信された各バイトを確認する仕組みになっている。これにより、送信側のモデムは、送信したものと送り返されたものを比較し、送信中にエラーが発生しなかったかを確認することができる。当然のことではあるが、このようにデータが行き来することで、転送率はMNP2を使用しないときの半分に落ちる。

MNP3はMNP2を改良した規格で、非同期で通信を行っていたクラス1、2から変わって、同期通信に対応している。この結果、各バイトにスタートビットおよびストップビットは必要なくなり、データ転送時のオーバヘッド(エラー制御のために付加するビット)を25%以上削除することを可能にしている。MNP3モデムは、MNP3モデム間は同期方式でデータを交換しているが、PCとの接続には非同期データリンクが使われているので、通常の(非同期の)RS−232シリアルポートに接続できる。

MNP4は基本的にはエラー訂正プロトコルであるが、同時にデータ圧縮の機能も持っている。MNP4には2つの革新的な技術が取り入れられている。このプロトコルでは、モデムはデータをブロック単位でひとまとめにして、送信時にはこの単位ごとにエラーチェックを行うのであるが、この場合に使用される**適応パケット化機能**は、回線の状態や品質によってパケット(1回に送るデータのまとまり)の大きさを変化させることができる、適応性に富んだ機能である。もう1つの技術である**データフェーズ最適化機能**は、回線上を行き来するデータから、重複している制御データを取り除いて転送の高速化をはかるものである。これらの技術によって、モデムのスループットは元の転送率の120%にまで高速化される。つまり、MNP4を使用すると、1,200bpsのモデムなら1,450bpsのスループットを持つことになるのである。多くのモデムがMNP4を搭載している。

MNP5は純粋なデータ圧縮プロトコルであり、いくつかの種類のデータを、転送に時間がかからないような形に圧縮する。MNP5では、データを最大2分の1にまで圧縮することができるため、実質的にはデータの転送率を2倍にする効果がある。しかし、データの種類によっては(すでに圧縮されているファイルなどの場合)、転送時間が実際には増加する場合もある。

MNP6はデータ圧縮とは別に、回線の状態に合わせてモデムが最高の性能を発揮できるような設計がされている。MNP6モデムでは、**ユニバーサルリンクネゴシエーション**と呼ばれる技術を用いて、最初は低速で通信を開始し、その後、回線の状態を見きわめてから、より高い速度へと移行させていく。また、MNP6には、**統計的二重化**と呼ばれる技術も使用されており、これによって半二重モデムを全二重モデムのように使うことができる。

MNP7では、MNP5よりも効果的なデータ圧縮アルゴリズム(ハフマン符号化方式)が使われており、データによっては3倍のスループットが得られる。

MNP9(MNP8は存在しない)では、一般的なモデム動作に必要とされる転送上のオーバヘッドを減らすように設計がされている。この場合、各データパケットがうまく送信できたかを知らせる信号は、別に送るのではなく、次に送信されるデータパケットと一緒に送るという形で合理化されている。また、MNP9には、再送信しなければならない情報を最小限に抑えるという機能もある。ほかのエラー訂正プロトコルでは、エラー検出後再送信する場合、すべての情報を再送信する必要があったが、MNP9では、エラー検出時にその発生場所まで明確にできるため、エラーがあった場所だけ再送信すればよいのである。

MNP10は、移動体通信など回線の状態が悪い環境での通信用に開発された、**アドバースチャネルエンハンスメント**(Adverse Channel Enhancements)という言葉で表わされる一連の技術で構成されたプロトコルである。MNP10では、最善な形でデータ転送をするための様々な試みがなされる。たとえば、回線の状態によってデータパケットの大きさを変化させたり、信頼性を維持した上

で最高の転送速度が出るように通信速度を調節したりする。この規格を使用すれば、セルラー電話などの自動車電話でもモデム通信が実現される。

CCITT規格

CCITTの**v.22**は、Bell 212Aと同等の規格で、600ボーで1,200 bpsの転送速度を提供するものである。実際v.22では、Bell 212Aと同じ変調方式が用いられている。しかし、接続方式はBell規格と異なるため、互換性はない。いいかえれば、Bell 212Aとv.22は同じ言葉で話しているのだが、お互い会話を始めようとしない、ということになる。両方の規格をサポートし、それぞれの切り換えができるモデムもある。

v.22bisは、米国と欧州の両方で一般的に使用され、真の世界規格と呼べる最初の規格であった。v.22bisでは、単純な直交変調と振幅変調を組み合わせた、**トレリス変調**と呼ばれる変調方式を使用しており、600ボーで2,400bpsの転送速度を達成している。各ボーには16の状態があり、4つのビットのどのようなパターンもコード化できる。それぞれの状態は、変調前のキャリアに対する位相関係と振幅(強度)の2つで区別される。つまり、v.22bisでは、4つの位相と4つの振幅がはっきりと分かれており、それらを組み合わせて16の状態を作り出すことができるのである。

v.32は高速全二重通信用の国際規格で、4,800bpsと9,600bpsのデータ転送率が可能である。低速で通信する場合は、Bell 212Aとよく似た直交振幅変調が使われているが、最高のボーレートは2,400ボーである。9,600bpsの場合は、v.22bisとよく似たトレリス変調が用いられているが、2,400ボーで、v.22bis以上の位相と振幅の幅を持っている。

ほとんどのGroup　III　FAXとモデムは9,600bpsで動作するが、9,600bpsのFAXモデムがv.32規格と互換性を持つとは限らない。古いFAXモデムには、v.32と互換性がないものもあるので注意が必要だ。

v.32bisは、v.32の規格が14,400bpsにまで拡張され、v.32が持つ4,800bps、9,600bpsの速度に加えて、フォールバックにより7,200　bps、12,000bpsという中間速度も出すことができる。これらの速度がすべて2,400の倍数になっていることに注意してほしい。v.32bisにはあるがv.32にはない動作速度は、変調の際に異なった範囲の位相や振幅数を用いても作り出すことはできない。

v.32bisでは、14,400bpsでの1ボーにつき、位相や振幅で128の異なる状態を作ることができるため、1ボーにつき7ビットのデータをコード化できる。ほかのデータ転送率においても(v.32の場合も含む)、データのコード化では同様の関係がある。あまりにも多くの位相や振幅数の違いが一箇所に押し込められているため、電話回線の状態がほんの少しでも変化すると、その影響で転送エラーが発生することになる。そのため、このようなエラーを検出し除去する方法が、転送速度が上昇するに従って重要になってくる。

v.fast(仮称)は、CCITTにより開発されている新しい規格で、1994年6月に「**ITUT V.34**」として正式勧告される予定だ。構想段階では、データ圧縮なしで28,800bpsの転送速度を持つ公衆回線通信が可能ということである。

v.42は世界中で使われているエラー訂正規格であり、v.32、v.32bisやほかのモデム通信の信頼性を高めることができるように設計されている。v.42では、代用のプロトコルとしてMNP4の規格も組み入れている。つまり、v.42はMNP4のモデムと通信できるが、その2つを接続した場合、性能の高いv.42のエラー訂正プロトコルを使うことはできないわけだ。接続時に両方のモデムが交信し、MNP4を用いるか、またはv.42が使用できるかをv.42側のモデムが決定する。v.42が使用できればそれを使用し、MNP4は2番目の選択肢ということになる。いいかえれば、v.42のモデムでは、最初にv.42で接続できるかを試し、それに失敗した場合は、MNP4で試してみるということだ。MNP4でも失敗した場合は、エラー訂正なしで通信を試みるようになっている。

v.42bisはCCITTによって承認されたデータ圧縮プロトコルである。MNP5やMNP7とは異なると同時に互換性もないが、一層の効果をもたらす規格である。データの種類によっては、最大1/4まで圧縮が可能で、モデムの転送速度を

4倍にできる(コンピュータで可能な最大転送率は、シリアルポートによる制限を受けるため、通常38,400bpsである)。v.42bis規格のみに従ったモデムは、MNP5のみに準拠したモデムとは通信できないことに注意してほしい。v.42のモデムは、MNP5とは異なり、〝圧縮不可能〟なデータの転送時間が増加することはけっしてない。このため、最悪の場合でも、圧縮しないときと同じ時間でデータを送れる。

18.6 全デジタルダイヤルアップ通信

今日のモデムの規格も、コンピュータ間通信の次のステップである**全デジタルダイヤルアップ通信**へと徐々に移行していくであろう。世界を結ぶ電話交換機をつないでいる回線は、ほとんどがデジタル化されているからである。唯一原始的なのは、交換機から家庭や会社を結んでいるアナログ回線(専門家の間では、POTS：Plain Old Telephone Serviceと呼ばれている)だけである。過去10年間にわたり、この旧式の接続方法を用いて、デジタルデータを送るための努力がなされ、公衆回線モデムの転送率は、300bpsから38,400bpsにまで高められたが、ここまでが限界である。

今後も電話で話をすることに変わりはないだろうが、電話の接続方法は最終的には変わるかもしれない。各家庭の接続方法にも最終的にはデジタル技術が及んでいくはずだ。実際、米国やそのほかの国々の多くの地域では、地元の電話会社に特別なデジタル回線を引いてもらうことができ、すべてデジタルの交換システムにつなげられるようになっている。このデジタル回線では、今までの電話と同じように会話ができるだけでなく、当然、デジタルデータのやりとりも可能となるが、その操作は電話をダイヤルをするぐらい簡単なものだ。現在、少なくとも3種類のデジタル回線サービスが多くの地域で使用できるようになっている(または間もなく使用可能となる)。この3種類のサービスは、SDS 56、ISDN、SMDSという略称で知られている。後々は、あなたのコンピュータもこのうちのどれか(またはその後継の規格)に接続するようになるだろう。

SDS 56

SDS 56(Switched−56と呼ばれることもある)とは、Switched Data Services 56の略で、電話会社によってはいくつかの交換機ですでに使用しているところもある。この規格では、1つのデジタルチャネルで、毎秒56Kビットのデータ転送率を達成している。SDS 56の信号は、現在電話回線で使われているのと同じ、従来型のツイストペアの銅線を使った配線を通して送られる。コンピュータと接続するには、モデムと同じような特別な前後処理装置をコンピュータに取り付ける必要がある(この装置はv.32型モデムと同じ位の値段である)。当然のことだが、信号がデジタルのままであるため、変調や復調の必要はなくなる。また、信号が送られる途中でエラーはまったく発生しない。

地域によっては、普通の電話回線と比べて、SDS 56もそれほど高価なものではなくなってきている。しかし実際は、設置費用がかかることと、電話会社によっては、通常のダイヤル呼び出し料金のほかに、月間メンテナンス料を別途請求しているところもある。

SDS 56を使用するためには、コミュニケーションをする相手方にもSDS 56を使ってもらわなければならない。現在のところ、SDS 56は国際規格としては認められていないため、通常の電話回線によるモデム通信の場合とは異なり、全世界的とはいえない。SDS 56に接続する場合の一番のメリットは、高速で信頼性が高く、データが完全なままで転送できるということだ。

ISDN

ISDNとは、Integrated Services Digital Network（サービス統合デジタル通信網）の頭文字を取ったものであるが、冗談で"I Still Don't Know"（私はまだ知らない）や"It Still Does Nothing"（まだ少しも役に立っていない）の略だと説明する人たちもいる。ただし、"役に立っていない"という点については、ISDNは長い間議論がなされているのにもかかわらず、その可能性をほとんど示していないため、もっともな冗談ではある。

家庭や会社用にISDNを導入するにあたっての青写真が、すでにたくさん作られてきたことからも分かるように、問題は、実際に使用される前からISDNの存在がよく知られていたということだ。ISDNは世界中でサポートされている規格で、現在使われているアナログの電話回線は次第に、このISDNへと変っていくことが約束されている。ISDNの猛攻撃には弾みがつきつつある。実際、1994年の末までには、米国における半分以上の電話回線はISDNへ接続する予定である。

SDS 56と同様に、ISDNは、すでに家庭や会社をつないでいる、銅製のツイストペアワイヤがそのまま利用できる。1つのアナログ信号に代わり、ISDNではデジタル信号のチャネルが3つある。2つのBチャネル（BearerのBを取ったもの）は、どのような種類のデータ（デジタルコード化された音声、FAX、そのほかいろいろ）も、64,000bpsで送ることができる。また、D（Delta）チャネルは16,000bpsの速度を持ち、制御信号を送るのに使用したり、第3のデータ送信チャネルとして使用することもできる。この3つのチャネルは、ISDNのシステムを通して、それぞれ独立して異なる方向へ進むことができる。

ISDNの配線が1本あれば、圧縮していないデータを双方向に64,000bpsで送信できる。この場合、現在の全二重モデムとまったくよく似た方法で通信を行うのだが、デジタル回線のため、高速でエラーのない転送が可能である。さらに、このように双方向で高速通信をしている間も、Dチャネルでは、別の機能を使うことができる。

ISDNの特徴としてキーポイントになるのが、今日一般的なツイストペアの電話線がそのまま使えるということだ。ユーザーも電話会社も、デジタル回線に切り換えるために、何十億ドルもの資金をかけて電話線を敷設し直す必要はない。それどころか、現在はほとんどが差し込み式基板になっている電話交換機を、電話会社の中でアップグレードするだけでISDNへ切り換えることができるのである。

もちろん、思ったほど簡単ではない面もある。ISDNへ移行する場合に一番の障害となるのは、技術的なことよりも経済的なことである。交換機は減価償却の期間が長いため、電話会社にとっては、必ずしもよい商売とはいえないのだ。

しかしながら、ISDNに加入しても、手持ちのコンピュータをそのまま回線につなぐことはできない。ここでもやはり、コンピュータをISDNへ接続するためのインターフェイス機器が必要になる。接続しようとする装置をISDN回線に合うようにすると同時に、その装置がISDNアダプタと呼ばれる装置を使用しているほかの機器を損なわないようにする必要がある。ISDNアダプタには、アナログポートが付いているものがあり、現在使っている電話をISDNに接続することもできる。このアダプタは、ISDNがすでに使われている地域では入手できるようになってきた。

SMDS

データをもっと高速に転送したい場合は、Switched Multimegabit Data Service（SMDS）（地域高速交換サービス）を選ぶこともできる。SMDSは作られてからまだ間がないため、国際規格にはなっていないが、徐々に市場へ参入しつつある。政府の庁舎間を、1.45Mbpsというデータ転送率をサポートしたダイヤルアップ方式でリンクさせたという例もある。ほかにも、1.2M～30Mbpsまでの転送速度のシステムが試みられている。

18.7 モデム制御

モデムには、デジタルのデータを変調して音声信号に変えるという本来の目的のほかにも、様々な役割を果たすことができる。たとえば、自動的に電話を呼び出したり応答したり、電話回線の状態をリポートすることもできる。このような機能を使うためには、モデムをコンピュータの側から制御する必要があり、同時にモデムはコンピュータに対し、行っている内容と判明したことについて、信号を送らなければならない。

デュアルモード

ほとんどのモデムは、2つあるモードから1つを交互に選んで作動している。**コマンドモード**では、モデムはコンピュータから送られた命令を受け取り、実行に移している。**通信モード**では、モデムは単にデータを変換しているだけである。

モードを変える場合、大抵はモデムへ制御キャラクタを送ってやればよい。この制御キャラクタは、コマンドモードのとき以外では、受信されることも処理されることもできない。通信モードで使用しても、電話回線を通り抜けて行ってしまう。

コマンドモードから通信モードへの移行は簡単にできる。モデムはすでにコマンドを扱っている状態にあるため、そこにまたコマンドを与えるだけで通信モードに移れる。逆に、通信モードからコマンドモードへ移行する場合は厄介である。通信モードでは、モデムは受信したデータをすべて電話回線へと中継する。通信モードからコマンドモードへ移行させるための、最もよく知られた方法として、**保護期間**を使う方法がある。保護期間とは、データが送信されていない短い合間の時間のことで、その間に制御キャラクタを送って、通常の通信には現われないようにするのである。このモード切り換え方法は、モデムメーカーのHayes Microcomputer Products(創立者のDennis Hayesの名前から付けられた)が特許を取得しており、この方法を使用したモデムを作る場合は、ライセンス契約をしなければならない。ほとんどのモデムでは、1秒の保護期間と、コマンドキャラクタシーケンスとして3つのプラス記号(〝+++〟)を使用している。

ヘイズコマンド

今日使われているほとんどのモデムでは、規格化された命令体系である**ヘイズコマンドセット**が使用されている。ヘイズコマンドは、Hayes社が自社のモデム用に開発したものである。ヘイズコマンドセットは、2文字のキャラクタ(**アテンションキャラクタ**と呼ばれる)で始まる数十種類のモデム用のコマンドで構成されており、ほとんどすべてのコマンドの頭には〝AT〟の文字が付いていることから**ATコマンド**とも呼ばれている。この呼び方は、特にHayes社のライバル会社がHayes社の宣伝になるような〝ヘイズコマンド〟という呼び方に抵抗がある場合などに使われている。ヘイズコマンド(ATコマンド)が使用できるモデムのことを、**ヘイズ互換モデム**と呼んでいる。

ATコマンド自体は特許の対象ではないが、特許の対象であるモード切り換え方法と組み合わせて使用しないと使えない。基本的なヘイズコマンドを**表18-1**に示した。

ほとんどのATコマンドは、アテンションキャラクタに続く1文字でコマンドの種類を表わし、さらにその次の1文字でコマンドの性質を表わしている。たとえば、〝H〟は〝Hook〟を表わすことになっており、〝H0〟と続く場合は、〝on the hook〟つまり電話を切るという意味になる。〝H1〟の場合は、モデムが電話を取る、つまり回線を接続させることを意味する。

最初のアテンションコマンドに続けて、いくつかのコマンドやその修飾子を加えて1つの行を作ることができる。たとえば、Hayes社のモデムやヘイズ互換モデムに、トーンダイヤル回線上で情報をダイヤルするように指示する場合は、〝ATDT15511212〟という文字列がそのコマンドになる。

表18-1　拡張ヘイズコマンドセット

コマンド	機能
AT	アテンション（全コマンドの始めに使用）
ATI*n*	**製品コードとROMチェックサム要求**
	0＝モデムは3桁の製品コードを送る
	1＝ファームウェアROMのチェックサム値を要求
	2＝ROMチェックサムのOKまたはERRORの状態を要求
A／	最後のコマンドを繰り返す（ATもしくはReturnはなし）
A	リングを待たずに応答する
B*n*	**Bellモード－1,200 bpsプロトコル互換モードにセットする**
	0＝CCITT v.22／v.22bis
	1＝Bell 212A
C*n*	**キャリアステート**
	0＝off
	1＝on
D*n*	*n*番をダイヤルする
特殊ダイヤルコマンド	
P	ポーズダイヤル
R	リバースモード（発呼側が応答用のキャリア周波数を使用）
S	記憶番号のダイヤル
T	トーンダイヤル
W	ダイヤルトーンまたはアクセストーンを待つ
@	一定時間の無音状態を検出
,	ポーズ（ダイヤル文字列中の待ち指定）
!	フラッシュ（1／2秒オンフック）
;	ダイヤル後コマンドモードに戻る
E*n*	**モデムコマンドのエコー**
	0＝no
	1＝yes
F*n*	**全二重通信または半二重通信**
	0＝半二重モード
	1＝全二重モード
H*n*	フック
	0＝オンフック（ハングアップ）
	1＝オフフック
L*n*	**音量またはスピーカのボリューム**
	0＝低い
	1＝低い
	2＝中間
	3＝高い

コマンド	機能
M*n*	**スピーカの動作モード**
	0＝off
	1＝on
	2＝常時 on
	3＝モデムがダイヤル時にキャリア信号を受信したときにスピーカを off
O*n*	**オンライン状態**
	0＝モデムはオンライン状態に戻る
	1＝モデムはオンライン状態に戻り等化器（イコライザ）を再トレーニングする（24,000bps モードのみ）
Q*n*	**リザルトコードの有無**
	0＝リザルトコードを返さない
	1＝リザルトコードを返す
S*n*＝*x*	**S レジスタコマンド**
	n＝S レジスタ番号
	x＝レジスタにセットする値
S*n*?	S レジスタ *n* の値を表示する
V*n*	**リザルトコードの形式**
	0＝数字使用
	1＝ワード使用
X*n*	**拡張リザルトコードとモード設定**
	0＝基本（300 bps）
	1＝拡張（ダイヤルトーンなしまたはビジー信号検出）
	2＝拡張（ダイヤルトーン検出、ビジー信号未検出）
	3＝拡張（ダイヤルトーン未検出、ビジー信号検出）
	4＝拡張（ダイヤルトーン、ビジー信号ともに検出）
Y*n*	**ロングスペース遮断**
	0＝禁止
	1＝許可；1.6 秒間のブレーク信号を受信後回線切断
Z	不揮発性メモリから設定値を取り出す
&C*n*	**データキャリア検出（DCD）信号の処理**
	0＝モデムは DCD（RS−232 の 8 ピン）を常時 on に保持する
	1＝データキャリアの有無に応じて DCD の状態を変える
&D*n*	**データ端末レディ（DTR）信号の処理**
	0＝モデムは DTR ライン（RS−232 の 20 ピン）を無視する
	1＝DTR がなくなったときにモデムは非同期コマンドの状態と推定する
	2＝DTR off でモデムを off hook にし、アンサーモードから抜け、コマンドモードに移る
	3＝DTR off でモデムを初期化する
&F	ROM から工場設定値を取り出す

コマンド	機能
&Gn	**ガードトーン選択**
	0＝ガードトーンなし
	1＝550Hz のガードトーン
	2＝1,800Hz のガードトーン
&Jn	**テレフォンジャック選択**
	0＝RJ－11／RJ－41S／RJ－45S
	1＝RJ－12／RJ－13
&Ln	**リース回線と公衆回線の選択**
	0＝公衆回線
	1＝リース回線
&Mn	**非同期／同期モード選択**
	0＝非同期モード
	1＝同期モード 1－非同期モードでダイヤル後、同期動作に切り換え
	2＝同期モード 2－記憶されている番号をダイヤルする
	3＝同期モード 3－手動ダイヤル
&Pn	***パルスダイヤルのメイク／ブレークパルス長選択**
	0＝39%メイク、61%ブレーク（US およびカナダ標準）
&Rn	**送信要求（RTC）／送信可（CTS）信号の処理（同期モードのみ）**
	0＝CTS（RS－232 の 5 ピン）は RTS（4 ピン）に連動する
	1＝同期データ受信の準備ができたら、モデムは RTS を無視して CTS を on にする
&Sn	**データセットレディ（DSR）信号の処理**
	0＝モデムは電源 on 状態で常に DSR を強制的に on にする
	1＝DSR（RS－232 のピン 6）は EIA 仕様に従って動作する
&Tn	**テストモード**
	0＝進行中のすべてのテストを終了する
	1＝自局側アナログループバックテストを開始する
	2＝自局側デジタルループバックテストを開始する
	4＝他局側のモデムからの要求に応じて、リモートデジタルループバックテストを実行するためにモデムを調整する
	5＝リモートデジタルループバックテストを禁止する
	6＝他局側のリモートデジタルループバックテストを開始する
	7＝自己診断とリモートデジタルループバックテストを開始する
	8＝自己診断とリモートデジタルループバックテストを開始する
&W	現在の設定値をメモリに書き込む
&Xn	**同期伝送のクロックソースを選択する（同期モードのみ）**
	0＝モデムがタイミングを生成し、15 ピンを通してそれを送る
	1＝モデムのホストコンピュータがタイミングを生成して、それをモデムの 24 ピンに送る。モデムはそれを 15 ピンにルートする。
	2＝モデムは入力信号からタイミングを生成して、それを 15 ピンに供給する

コマンド	機能
&Zn	電話番号を記憶する n=ダイヤルコマンドと互換の文字列

*訳注：日本国内のモデムでは、パルスダイヤルのスピード (pps) 設定に使われていることが多い。

"AT"はアテンション信号、"D"はダイヤルを指示するコマンド、"T"はダイヤルにトーンを使用することをモデムに教えるもので、"15511212"が電話会社の情報サービスの電話番号を表わしている。

AT コマンドを送る場合は、最後に必ずリターンキーを押す必要がある。モデム側では、このリターンキーが押されることにより、その前に入力されたコマンド列がこれで終了したと判断し、コマンドの処理を始めるのである。

拡張ヘイズコマンド

ヘイズコマンドが開発された頃、モデム側の機能は比較的少なかった。その後、モデムの性能が高くなるにつれ、より多くの機能が搭載されるようになり、最初のヘイズコマンドも、拡張してあらゆる機能を扱うことができるようにする必要が生じた。ここで注意しなければならないのは、ヘイズ互換モデムの多くは、オリジナルのヘイズコマンドしか認識できないということである。ヘイズ互換モデムに様々な機能が搭載されていても、拡張ヘイズコマンドを要求するソフトウェアでは、すべての機能は使えない可能性があるのだ。

Sレジスタ

ヘイズコマンドを拡張するとき、新しい機能があまりにも多いため、コマンド言語が扱いにくく混乱を招きやすいものになりかねなかった。1 文字で表わすコマンドとして使用できるアルファベットは 26 文字しかないのである。これに対して、Hayse 社は特別なレジスタ機能である、**S レジスタ**と呼ばれるメモリ領域をモデムの中に組み込むことで、モデムの操作パラメータを設定しやすくした。S レジスタに数値を設定することによって、様々なモデムの機能が制御できる。S レジスタによる設定方法を表 18-2 に示す。

表 18-2 ヘイズモデムの S レジスタ

レジスタ	範囲	単位	説明	デフォルト
S0	0-255	リング	指定回数のリング後に応答	0
S1	0-255	リング	リング数をカウントする	0
S2	0-127	ASCII	エスケープコード	43
S3	0-127	ASCII	リターンとして使用するキャラクタ	13
S4	0-127	ASCII	改行として使用するキャラクタ	
S5	0-32、127	ASCII	バックスペースとして使用するキャラクタ	8
S6	2-255	秒	ダイヤルトーンの待ち時間	2
S7	1-255	秒	キャリアの待ち時間	30
S8	0-255	秒	カンマポーズの長さ	2
S9	1-255	0.1 秒	応答時間、キャリア検出	6
S10	1-255	0.1 秒	ハングアップまでの遅延	7
S11			予約	
S12	20-255	0.02 秒	エスケープコードの不動作時間	50
S13			予約	

レジスタ	範囲	単位	説明	デフォルト
S14	ビットマップ		モデムの動作	AAh
			bit 0　予約	
			bit 1　コマンドエコー	
			0＝エコーなし	
			1＝エコー	
			bit 2　リザルトコード	
			0＝enabled	
			1＝disabled	
			bit 3　冗長モード	
			0＝短形式リザルトコード	
			1＝冗長リザルトコード	
			bit 4　ダムモード	
			0＝スマート動作	
			1＝ダム動作	
			bit 5　ダイヤル方式	
			0＝トーン	
			1＝パルス	
			bit 6　予約	
			bit 7　発信／応答モード	
			0＝応答	
			1＝発信	
S15			予約	
S16	ビットマップ		モデムテスト動作	
			bit 0　自局側アナログループバック	
			0＝disabled	
			1＝enabled	
			bit 1　予約	
			bit 2　自局側デジタルループバック	
			0＝disabled	
			1＝enabled	
			bit 3　ステータスビット	
			0＝disabled	
			1＝enabled	
			bit 4　リモードデジタルループバック	
			0＝disable	
			1＝enable	
			bit 5　テストメッセージとともにリモートデジタルループバックとエラーのカウントを始める	
			0＝disabled	
			1＝enabled	

レジスタ	範囲	単位	説明	デフォルト
			bit 6 セルフテストとともに自局側アナログループバック	
			bit 7 予約	
S17			予約	
S18	0-255	秒	テストタイマ	0
S19			予約	
S20			予約	
S21	ビットマップ		モデム動作	
			bit 0 使用ジャック	
			0＝RJ－11／RJ-41S／RJ-45S	
			1＝RJ-12／RJ-13	
			bit 1 予約	
			bit 2 RTS／CTS の処理	
			0＝RTS は CTS に従う	
			1＝CTS は常時 on	
			bit 3、4 DTR の処理	
			0、0＝モデムは DTR を無視	
			0、1＝DTR が off になったときモデムをコマンドモードにする	
			1、0＝DTR が off になったとき回線を切断する	
			1、1＝DTR が off になったときモデムを初期化する	
			bit 5 DCD の処理	
			0＝DCD は常時 on	
			1＝DCD はキャリアが存在することを表わす	
			bit 6 DSR の処理	
			0＝DSR は常時 on	
			1＝DSR は、モデムが回線が接続されており、データモードにあることを表わす	
			bit 7 ロングスペース切断	
			0＝disable	
			1＝enable	
S22	ビットマップ		モデム動作レジスタ	76h
			bit 0、1 スピーカのボリューム	
			0、0＝低	
			0、1＝低	
			1、0＝中	
			1、1＝高	

レジスタ	範囲	単位	説明	デフォルト
			bit 2、3　スピーカの制御 0、0＝スピーカは disable 0、1＝キャリアが検出されるまでスピーカは on 1、0＝スピーカは常時 on 1、1＝ダイヤルとキャリア検出の間だけスピーカを on bit 4～6　リザルトコードオプション 0、0、0＝300 ボーモデムのリザルトコードのみ 1、0、0＝モデムはダイヤルトーンまたはビジー信号を検出しない 1、0、1＝モデムはダイヤルトーンのみ検出 1、1、0＝モデムはビジー信号のみ検出 1、1、1＝モデムはダイヤルトーンとビジー信号を検出 (ほかの設定は定義されていない) bit 7　メイク／ブレークパルスダイヤルの比率 0＝メイク 39%、ブレーク 61% 1＝メイク 33%、ブレーク 67%	
S23	ビットマップ		モデム動作レジスタ bit 0　他局側からのリモートデジタルループバックの要求に従う 0＝可 1＝不可 bit 1、2　通信速度 0、0＝0～300 bps 0、1＝予約 1、0＝1,200 bps 1、1＝2,400 bps bit 3　予約 bit 4、5　パリティオプション 0、0＝偶数 0、1＝スペース 1、0＝奇数 1、1＝マーク／なし bit 6、7　ガードトーン 0、0＝disabled 0、1＝550 Hz ガードトーン 1、0＝1,800 Hz ガードトーン 1、1＝予約	7

レジスタ	範囲	単位	説明	デフォルト
S24			予約	
S25	0-255	0.01 秒	DTR に対する遅延	5
S26	0-255	0.01 秒	RTS から CTS の遅延	1
S27	ビットマップ		モデムオプションレジスタ	40h
			bit 0、1　送信モード	
			0、0＝非同期	
			0、1＝コール時非同期、接続後同期モード	
			1、0＝記憶された番号のダイヤル後、同期モードで接続	
			1、1＝手動ダイヤル後、同期モードで接続	
			bit 2　公衆回線またはリース回線操作	
			0＝公衆回線	
			1＝リース回線	
			bit 3　予約	
			bit 4、5　同期クロックのソース	
			0、0＝自局側モデム	
			0、1＝ホストコンピュータまたはデータ端末	
			1、0＝受信キャリアから生成	
			1、1＝予約	
			bit 6　Bell／CCITT	
			0＝CCITT v.22 bis／v.22	
			1＝Bell 212A	
			bit 7　予約	

応答コード

ヘイズ互換モデムに送られたコマンドは、その性質上一方通行である。確認の方法がないため、送ったコマンドをモデムが本当に認識したか知ることはできない。さらに、使用している電話回線についてモデムが見つけたこと、たとえば、いつ相手側のモデムと接続し、いつ接続が切れたかといったことなどを、モデムが使用者に知らせる方法も必要である。

ヘイズコマンドセットの中には、一連の**応答コード**があり、モデムからのフィードバックに使われる。モデムが何かをユーザーに知らせたい場合、データの送信に使用しているのと同じ接続を経由して、その状況をコード番号や英単語で送り返してくる。ヘイズ方式では、モデムを設定して、単なる**数字の**コードか、日常英語に近い数個の単語で作られた**冗長な**応答を、モデムに送信させることができる（モデムのマニュアルがあれば参照するとよいだろう）。

よく見られる応答としては〝OK〟があるが、これは、送ったコマンドをモデムが受け取って処理したことを意味している。〝CONNECT 1200〟は 1,200bps のモデムで接続したことを示し、〝RINGING〟はモデムとつながっている電話に呼び出しがあったことを示している。ヘイズ応答コードについては、**表 18-3** に示した。

モデムからコンピュータに送られてくる応答コードは、受信しているデータに混ざってくるため、データの文章と応答コードを見誤ってしまうという可能性もあるので注意が必要である。

表18-3　ヘイズ応答コード

数字コード	冗長コード	説明
0	OK	エラーなしてコマンドが実行された
1	CONNECT	接続完了 (300 bps)
2	RING	電話が呼び出し中
3	NO CARRIER	キャリア消失もしくは検出できない
4	ERROR	コマンドラインにエラーがある、もしくはコマンドラインが長すぎる
5	CONNECT 1200	1,200 bps で接続完了
6	NO DIALTONE	待機中にダイヤルトーンが検出されない
7	BUSY	モデムがビジー信号を検出した
8	NO ANSWER	無音期間が検出できない
10	CONNECT 2400	2,400 bps で接続完了

18.8　モデムの特徴

〝特徴〟という言葉は意味が広く、種類の異なるモデム間に存在する様々な微妙な差異、あるいは明確な差異もすべて含まれる。一般的に、モデムを使用する上での使いやすさや便利さは、このモデムの様々な特徴全体によって総合的に決まる。たとえば、基本機能しかないモデムでは、電話機のダイヤルを回したり、着信コールに応答し、相手側のモデムが発するキャリアトーンを聞いてからコンピュータに切り換えたりといった作業を、ユーザー自らが行う必要があるが、価格が安ければその程度の不便は我慢しようというユーザーも多いだろう。

モデムの機能不足による作業の増加が苦痛でない場合でも、基本機能しかないモデムでは、コンピュータの機能を生かすことができない。多機能なモデムを使用すれば、コンピュータによって素早くダイヤルすることができる上、エラーも少ない。また、ユーザーに代わって、通信に伴う雑用を自動的に処理することができる。最新のメモリ常駐型の通信ソフトがあれば、ほかのプログラムを使用してデータ処理を行っている間に、コンピュータで多機能モデムを制御して、メッセージを集めることができるのである。

実際、現在製造されているほとんどのモデムは、外国製の低価格モデムも含めて、通常の通信で必要になる標準的な機能をすべて備えている。機能が回路チップに組み込まれるようになってから、機能の追加が容易に行えるようになった。最近では、古い標準規格に従って製造されたもの、会社の上司から譲り受けたもの、倉庫の隅でほこりをかぶっていたもの、たまたま手に入れた中古品などを使用する場合でもなければ、基本機能だけのモデムを使用する機会はなくなってきている。

以下の項では、最近のモデムが備えている各種の優れた機能の中から、どの製品にも共通する一般的な機能を紹介する。

自動応答

自動応答とは、着信リング電圧（電話機のベルを鳴らす低周波数の高電圧信号）を検出し、人間が応答したかのように電話回線を接続する機能をいう。回線を接続した自動応答モデムは、電話に対する応答が終了したことを通知する信号をホストコンピュータに送信するので、その信号が届いたら、コンピュータは呼び出し側と通話を行う。

自動応答モデムを使用すると、電話に応答する人間がいない場合でも、ユーザーがコンピュータシステムに電話をかけて、そのコンピュータと接

続することができる。

自動ダイヤル

自動ダイヤルモデムは、電話機の種類にかかわらず、パルスダイヤル信号、またはDTMF(デュアルトーン変調周波数、つまりプッシュホン式)ダイヤル信号を生成できる。

自動ダイヤル機能を使えば、たとえば電話料金が安い夜間に、コンピュータのコマンドによって自動的に電話をダイヤルすることなども可能だ。自動ダイヤル機能がないと、ダイヤルを回し、相手側モデムの応答を聞き、自分のモデムを接続してから受話器を置くという作業をユーザー自らが行わなければならない。

自動速度感知

相手側のモデムの動作速度は、接続してみるまでは分からない。そのため、最近のモデムの大部分は、相手側のモデムの速度に合わせて、可能な範囲内で速度を自動調整することができるようになっている。高速モデムでは、通常、専用のプロトコルによる動作が可能な範囲で、最適な共有速度を選択するようになっている。

また、コンピュータから受信したデータの速度に合わせて、可能な範囲内で自らの速度を調整するようになっているモデムも多い。ヘイズコマンドセットのアテンションコード(〝AT〟)だけで、モデムはデータを読み取り、動作速度を情報フローの速度に合わせることができる。

音響カプラー

旧式のモデムは、電話回線と電気的には接続されていなかった。当時は、モデムと電話機を直結することは実際には無理だったし、法律上も不可能だったからである。電気的な接続が実現したのは、現在では一般的なモジュラープラグとジャックが使用されるようになって、難しい作業や感電する恐れもなく、誰でもモデムを電話機に接続できるようになってからである。また、法律的に可能になったのは、独占企業であったAT&Tが分割されるまでの長きにわたって使用されていた電話会社規定が変更されて、モデムと電話機の直結を個人が自由に行えるようになってからのことである。

旧式のモデムでは、電気的に接続する代わりに、信号を音波として電話機に送り込んでいた。モデムが発生する疑似音声アナログ信号は、**音響カプラー**と呼ばれる装置を使用して受話器のマイクが取り込める音に変換し、再び電気信号に戻してから電話線を通じて送信していた。また、音によって双方向の交信を行うために、音響カプラーにもマイクが組み込まれており、これによって受話器のスピーカから出てくる着信音を取り込み、電気信号に変換した後でモデムに送り、復調を行っていた。

音響カプラーには様々な形のものがある。初期の装置は、上に受話器を置けるように、特殊な受け台の形をしたものがモデムに搭載されていた。最近では、受話器の送話口と受話口をはめ込むゴム製のカップを2つ備えたものが多くなっている。後者のタイプのカプラーは、モジュラージャックを備えていないために、モデムとの直接接続することができない電話機でも、モデムと接続したり切り離したりが容易に行えるため、今後もしばらく使用されるだろう。この使用上の柔軟性が特に効果を発揮するのは、携帯型コンピュータに内蔵したモデムを、モジュラージャックのない公衆電話機やホテルの客室内の電話機と接続する場合などだ。

なお、音響カプラーは一般的に遅い通信速度でしか使用できなかったが(たとえば、300ボーでBell 103規格の通信を行う場合など)、現在では最高9,600bpsという高速通信が可能な音響カプラーもある。

直結型モデム

電話システムの電気回線に直結するモデムは、文字通り**直結型モデム**と呼ばれている。モジュラージャック方式の電話回線システムが普及したおかげで、現在では市販のモデムはほぼ全機種が直結型になっている。

非同期式モデム

コンピュータでの通常の通信用途向けに販売さ

れているモデムは、ほぼすべての機種が**非同期伝送**機能を備えている。このちょっと変った用語は、互いにまったく独立して動作し、タイミング情報を共有しない2つのコンピュータシステム間における情報の交換方法のことを表わしている。

通常、デジタル信号におけるビットの意味は、コンピュータのシステムクロックからのクロック信号に応じてパルスが発生するタイミングによって決まる。したがって、正しい動作を行うためには、パルスとクロックの同期が取れていなければならない。しかし、非同期伝送では、このデジタルパルスは、どちらのコンピュータのシステムクロックにも同期しない。その代わりに、デジタルワードの各ビットの意味は、明確に定義されたスタートビットを基準とした位置によって決まるようになっている。タイミングは個々のワード内で設定されるため、非同期信号の各ワードはタイミングに関して自己完結しており、自分で定義する境界外との時間関係からは基本的に独立している。

電話システムを使用するモデムの信号は、一般的に非同期である。信号経路が突然変更される可能性があるため、電話システムを通じて信号の同期を取るのは困難である上、コストが高くなるからである。

同期式モデム

専用回線用のモデムでは、通常、メインフレーム間で多用されている特殊な通信技術が使用される。この技術を**同期伝送**という。電話線を通じてこの方式でデータを送信する場合は、チャンネルの両端で同一のタイミング基準を使用する。また、接続状態の恒常的な監視と回線状態に応じた調整を行う回路によって、双方のモデムはほぼ同一の周波数を維持して継続的に通信を行うと同時に、モデム間の適切な位相関係が維持される。2,400bps以上の高速モデムでは同期伝送を使用する場合が多い。

同期伝送では、個々のビットのタイミングがきわめて重要になる。しかし、フレームを指示するビット（スタートビットとストップビット）は必要ないため、高速な通信が可能である。タイミングが重要な通信の問題点は、接続の両端だけでなく、モデムとコンピュータ間の接続においても同期が取れていなければ、情報の交換が不可能な点にある。接続されてしまえば同期を取る手段があるが、接続するにはダイヤルする必要があるため、通常、自動ダイヤル機能は同期モードでは動作できない。

自動同期モデム

Hayse社は、同期通信とダイヤルに関するこの問題点を解決するために、自社の最新高速モデムに**自動同期**機能を搭載した。この特殊なモードでは、コンピュータとモデムとの接続を非同期で動作させせることができる。モデムは、コンピュータからの非同期信号を同期モードに変換してから電話線に送出する。受信時ではこれと逆で、着信した同期信号を非同期信号に変換してからホストコンピュータに送信する。この自動同期機能を使用すると、メインフレームと同期方式を使用するコンピュータとの通信が、パーソナルコンピュータ間の通信並みに容易になる。

モデムのパッケージ

モデムを購入する際の最大のポイントは、コンピュータ内部に装着する**内蔵モデム**と、ケーブルで接続する**外付けモデム**のいずれを選択するかという点である。内蔵モデムは、コンピュータのスロットに装着するほかの拡張カードと同じ形をしている。外付けモデムは独立した筐体に入っているため、机の上に置く場所が必要になる。

製品の選択に迷った場合は、外観だけで決めても差し支えない。パッケージは異なっていても、回路は実質的にまったく同一という場合が多いからである

内蔵か外付けかの選択に関しては、実用上の判断基準がいくつか考えられる。外付けモデムは携帯性に優れているため、別のコンピュータへの接続が容易であり、IBMとは互換性のないコンピュータにもプラグで簡単に接続できる。内蔵モデムの場合、これを移動しようと思うと、移動元と移動先のコンピュータのカバーを始めとして、内部の様々な部品を取り外す必要がある。

また、内蔵モデムは装着可能なコンピュータが限られる。フルレングスの拡張カードになってい

る一部の内蔵モデムは、フルサイズのPC、XT、AT（または同等の互換機）にしか装着できない。Tandy 1000などの縮小サイズのコンピュータには、別のタイプのモデムが必要になる。また、DOSコンピュータからPS/2アーキテクチャのマシンに移行する場合には、内蔵モデムも買い直さなければならない。ほとんどのラップトップマシンやPCjrといった専用の拡張バスを持つコンピュータでは、その専用バスに合わせて設計された内蔵モデムしか使用できない。

また、63.5 Wという小さな電源しか持たないコンピュータを購入時のままで使用している場合は、内蔵モデムを装着すると（特に、フルレングスの旧型モデムカードでは）、モデムカード以外に同時に使用できるカードの数が制限されることがある。フルレングスの旧型モデムカードは消費電力量が多いため、ほかのカード（ハードディスクやEMSボードなど）が使用できるほどの電力が残らないためである。

反面、内蔵モデムは筐体や電源が不要なため（ただし、信号回路は少し多いが）、一般的に外付けモデムよりも価格が安い。また、30ドル以上はするシリアルケーブルの費用も節約できる。さらに、邪魔なケーブルやプラグも、貴重な空きコンセントを減らす電源アダプタも、机上の設置スペースも、システムの電源を一度に落とすための主電源スイッチボックスなども必要ない。

ポートの割り当て

電源の問題以外にも、内蔵モデムか外付けモデムかを問わず、システムのリソースに影響を及ぼす問題がある。外付けモデムにはシリアルポートとシリアルケーブルが必要であるが、内蔵モデムにもシリアルポートのアドレスが必要である。したがって、内蔵モデムの場合、シリアルポートのCOM1とCOM2のいずれかが（PS/2や最近のバージョンのDOSでは、COM3とCOM4も含めたいずれかが）アドレスを使用できなくなる。バージョン3.3より前のDOSを使用している場合は、外付けモデムが使用するシリアルポートまたは内蔵モデムが使用するシリアルアドレス以外に、シリアルポートを1つしか使用できなくなる。内蔵モデムの中にはアドレスをCOM3やCOM4に設定できるものもあるが、その場合は、使用するソフトウェアにCOM2より上の番号のポートを制御する機能がなければならない。

一般原則としては、コンピュータシステム間で1台のモデムを共有する場合は、柔軟性や機能性を考えると、外付けモデムを選択する方がよい。一方、設置面積やケーブル接続が不要な点、および低価格である点を重視する場合は、内蔵モデムということになる。

18.9 モデムの接続と使用

ほかの一般的な周辺機器とは異なり、モデムはプラグを接続してもすぐに使用できるとは限らない。シリアルポートに接続することから、外付けモデムは特にその傾向が強い。

モデムの配線

モデムのインストール作業の中で最も簡単なのはケーブルの接続である。DOSマシンやPS/2マシンのシリアルポートに接続する場合は、〝ストレートスルー〟ケーブルを使用する。ATタイプの9ピンコネクタのシリアルポートに接続する場合のみ、モデムへの接続アダプタが必要になる。

面倒なのは、ソフトウェアの導入以降の作業である。各種の通信ソフトは、モデムと対話しながら、シリアルポートの多数の制御回線を運用する。通常の通信ソフトはすべての接続を監視するが、「PC−Talk III」のように、モデムが備えている制御信号をほとんど使用しない通信ソフトもある。したがって、接続されるべき制御信号の数、およびモデムとコンピュータ間の接続ケーブル内で利

用可能なワイヤ数は、使用する予定の通信ソフトによって異なってくる。2番、3番、7番という必要最小限の3本のピンで通信処理のすべてを行う場合もあると思われるが、通常の通信ソフトでは10本の完全な接続が必要である。したがって、購入したモデムに必要なケーブルの種類が不明な場合は、ワイヤが10本以上でストレートスルータイプのシリアルケーブルを使用すれば間違いがない。

モデムのスイッチ設定

モデム自体は、ソフトウェアの条件に合わせて、様々な接続状態をどう扱ったらよいか設定することができる。たとえば、通信ソフトによっては、キャリア検出(CD)信号によって接続を管理しなければならないものがある。また、キャリア検出信号ではなく、データセットレディ(DSR)信号で管理する通信ソフトもある。

表18-4　Hayes社SmartmodemのDIPスイッチの設定

スイッチ	名前	機能	相当コマンド
1	DTR認識の有無	上－モデムはDTR信号を認識する。コンピュータはモデムに回線を切らせたり、DTR(RS－232の20ピン)に応答しないようにできる	
		下－モデムはDTRを無視する	
2	リザルトコード選択	上－冗長リザルトコード(英語の形で送信されるコード)	ATV1
		下－数字のリザルトコード	ATV0
3	リザルトコードの有無	上－リザルトコードはコンピュータへ送られる	ATQ1
		下－リザルトコードは送信されない	ATQ0
4	キャラクタエコーの有無	上－モデムはコマンドモードで受け取ったコマンドをエコーする	ATE1
		下－モデムは半二重かつオンラインモードにいなければキャラクタをエコーしない	ATE0
5	自動応答の有無	上－モデムは自動的に応答する	ASTO=1
		下－モデムは着信呼び出しに応答しない	ASTO=0
6	キャリア検出の有無	上－モデムはキャリアが検出されたことを示すためにコンピュータに信号を送る(RS－232の8ピン)	
		下－キャリアが検出されても、モデムは8ピンのステータスを変えない。キャリアが常に存在するように見せるために常にCDをOnにする	
7	RJ11／RJ12選択	上－モデムは2線式のRJ11テレフォンジャックに接続されている	
		下－モデムはRJ12またはRJ13ジャックを使って4線式回線に接続されている。この設定にすると、モデムが回線を使用しているとき(オフフック時)に多機能電話の通話中を示すインジケータが点灯する	
8	コマンド認識	上－Smartmodem 1200のコマンド認識をディスエーブルにする	
		下－Smartmodem 1200のコマンド認識をイネーブルにする	

幅広い通信ソフトに対応できるように、通常、モデムには、制御回線の取り扱い方法を決定するための設定スイッチがある。たとえば、特定のスイッチをオンにすると、キャリア検出信号がオン状態に固定され、オフにすると、通信状態に応じてキャリア検出信号の状態も変化するようになる。

スイッチには機械的なものと電気的なものの2種類がある。機械的なスイッチとしては、DIPスイッチが一般的である。モデムの原型的な存在であるHayes社の「Smartmodem 1200」では、スイッチは前面パネルの裏側に隠されていた(スイッチの操作をするときには、黒い前面パネルの両側にあるパネル固定ノブを片方ずつ注意深く引き上げ、パネルを手前に引いて外すという作業が必要だった)。

DIPスイッチを備えた市販モデムは、大部分がSmartmodem 1200のDIPスイッチ配列を踏襲している。そこで、Smartmodem 1200のDIPスイッチの配列を**表18-4**に示す。

もう1種類のスイッチである電気式スイッチに関しては、「Smartmodem 2400」を例に取って説明する。このモデムでは、電気式スイッチはEEPROMメモリから成り、コンピュータからモデムにコマンドを送信することでスイッチの設定を行う。EEPROMを利用したスイッチであるため、モデムの電源をオフにしたり、電源ケーブルを外したときでも、スイッチの設定内容は保持される。

ほかのモデムのうち、Smartmodem 2400と同様のEEPROMスイッチを備えたもの以外は、バッテリバックアップ方式のダイナミックRAMなど、別のメモリ技術を利用している。設定内容を保存できない一部のモデムでは、電源を投入するたびに再設定を行う必要がある。不揮発性メモリを搭載していないモデムの場合は設定内容を保存することはできないが、ディスクをメモリとして使用することで、この欠点を補うことは可能である。通信ソフトの多くは、接続する前にセットアップ用の文字列をモデムに送信するようになっているため、この文字列にスイッチの設定内容を加えておくとよい。

表18-5 Hayes社Smartmodem 2400セットアップコマンド

スイッチ	名前	代用コマンド
1	DTR認識の有無	有－Sレジスタ21番のビット3を1、ビット4を0にする
		無－Sレジスタ21のビット3と4をともに0にする
2	リザルトコード選択	冗長コード－コマンドATV1をモデムに送る
		数字コード－コマンドATV0をモデムに送る
3	リザルトコードの有無	有－コマンドATQ1をモデムに送る
		無－コマンドATQ0をモデムに送る
4	キャラクタエコーの有無	有－コマンドATE1をモデムに送る
		無－コマンドATE0をモデムに送る
5	自動応答の有無	有－コマンドATSO=1をモデムに送る
		無－コマンドATSO=0をモデムに送る
6	キャリア検出の有無	有－Sレジスタ21のビット5を1に設定する
		無－Sレジスタ21のビット5を0に設定する
7	RJ11／RJ12選択	RJ11－Sレジスタ21のビット0を0に設定する
		RJ12－Sレジスタ21のビット0に1を設定する
8	コマンド認識	ダムモード－Sレジスタ14のビット4を1に設定する
		スマートモード－Sレジスタ14のビット4を0に設定する

業界標準であるSmartmodem 2400のセットアップコマンドを表18-5に示す。Smartmodem 2400にはDIPスイッチがないため、表に示したコマンドはSmartmodem 1200のDIPスイッチの機能を代行している。

18.10　モデムの購入

モデムの購入は宝探しに似ている。最高の価値があるものは隠されており、ユーザーが自らがそれを掘り出さなければならない。しかし、探し出すべき対象をきちんと把握していれば、探し当てるのは難しいことではない。

まず、通信上の必要条件を判断する。宝を知らなければ宝探しを始められないのと同様に、行う通信の種類と通信速度を最初に決めておく必要がある。次に、メーカーがモデムに持たせた機能や付加価値（付属のソフトウェアなど）を検討する。価値観や関心の対象は人様々ではあるが、以下に述べる判断基準を利用すれば、適切な装置を適切な販売店から購入できるはずである。

実行したい通信の種類が決まれば、必要なモデムのタイプも絞られてくる。オフィス間でファイルの電子的なやり取りを行うだけであれば、規格外のモデムを2台購入することで、投資を上回る速度を得ることも可能である。しかし、全世界的な通信を行うつもりなら、国際的な規格に準拠したモデムを購入する方がよい。

速度

次に、希望する通信速度を判断する。モデムの価格設定において速度は大きな要素である。高速なモデムはそれだけ複雑で精密になり、価格も高くなる。世界最高速のモデムでなくともよい場合は、かなりの費用を節約できる。ファイルの転送をほとんど行わない場合は、それほどの速度は必要ない。一方、数百Kバイトにのぼる大量のデータの送受信を毎日行う場合は、9,600bps以上の高速モデムを購入したとしても、電話代が相対的に安くてすむため、数か月もあればもとが取れる。

規格

通常は、希望する通信速度が決まれば、モデムが従うべき規格も決まる。ただし、エラー訂正とデータ圧縮に関する考慮も必要である。これらの機能をソフトウェアで実現した場合、低い速度では正常に動作するが、9,600bps以上の速度になると、ハードウェアでの実現が必要になってくる。

すべてのモデムが、設計上の基本速度より低い速度をサポートしているとは限らない。たとえば、9,600bpsのモデムでいえば、2,400、1,200、300bpsでの通信をサポートしていない場合も考えられるのである。こういった速度が必要な場合は、購入候補のモデムがそのような速度をサポートしているかどうかを確認すべきである。

なお、モデムが低速度をサポートしている場合でも、電話の回線状態が悪いときに自動的に低速動作に切り替わる機能があるとは限らない。これを実現するには、接続を維持できる最大速度をネゴシエートする自動フォールバック機能を持ったモデムが必要である。

Hayes社のATコマンドセットは、業界内におけるモデム制御に関する事実上の標準規格である。ヘイズ互換モデムには、ほぼすべての通信プログラムを含めて、幅広いソフトウェアが使用できる。また、フォンダイヤラーや同様の機能を持つユーティリティには、ヘイズ互換のモデムが必要である。

パッケージ

内蔵モデムは、（ラップトップタイプやノートブックタイプの特定のコンピュータ用に製造された専用モデムを除けば）外付けモデムよりも一般的に低価格であるが、システム間での移動が難しい。

外付けモデムは、コンピュータのシリアルポー

トに、直接または間接的に接続する必要がある。ポケットモデムの中にはポートのコネクタにそのまま接続できるものもあるが、大部分のモデムではケーブルが必要である。ケーブルが付属している場合はほとんどないため、モデムを購入する際にはシリアルケーブルも忘れずに購入する必要がある。一般的には、ストレートスルータイプのシリアルケーブルを使用するが、（シリアルコネクタの25本のピンすべてを結線したものではなく）標準的な7ピン結線のもので十分である。

ほかの拡張ボードと同様に、内蔵モデムの場合も拡張スロットの空きが1つ必要なため、空きを確認する必要がある。また、未使用のCOMポートアドレスも必要になる。システムがシリアルポートをすでに4つ使用している場合は、通常、内蔵モデムを搭載することはできない。

ラップトップコンピュータを使っている人は、高価な専用内蔵モデムの代わりに、ポケットモデムを使用するとよい。ポケットモデムは小型の外付けモデムで、ラップトップやノートパソコンのケースの隅に入る程度の大きさである。小型でも、フルサイズのモデムが実行できる機能はすべて搭載されている。その上、ポケットモデムを使えば、ラップトップパソコンのバッテリ寿命も伸ばすことができる。

ポケットモデムは、モデムに内蔵されたバッテリを使用するか、または電話線自体から給電される設計になっている。バッテリの電力を使い果たして困った経験を持っているユーザーであれば、回線からの給電の利点は明白であると思われる。

ポートの使用

いろいろと設定の変えられる内蔵モデムであれば、（スキャナ、マウスなどの）ほかの装置のために2個から3個のシリアルポートを残しておくこともできる。使用する内蔵モデムがCOM3とCOM4をサポートしていない場合は、モデムを装着すると、シリアルポートの1つをアドレス指定することができなくなる可能性がある。

ソフトウェア

モデムにソフトウェアが付属しているかどうかを確認することも大切である。コンピュータ用の周辺機器の中でも、モデムにはソフトウェア（通常は、基本機能を完備した通信プログラム）が付属している場合が非常に多い。こうした付属のソフトウェアには、単なる無料ソフト以上の意味がある。モデムの特定機能（COM3以上のシリアルポートを使用する機能など）を利用するために必須である場合があるからだ。したがって、モデムを注文する際には、付属のソフトウェアの機能や、そのソフトウェアが標準装備かどうかを確認するとよい。

品質の問題

モデムの標準規格では、理想的な条件下でモデムでの処理が可能な信号だけが規定されている。ところが、すべてが理想的に接続できているとは限らない。電話回線のノイズや信号レベルの変化など、信号に関する障害への対応能力は、モデムによって様々である。モデムの仕様を確認して、ノイズの処理能力や検出可能な最小信号レベルのほか、エコーキャンセルなどのそのほかの信号回復機能の優劣を判断する必要がある。

ハードウェアの信頼性も忘れてはならない。コンピュータ用のほかの周辺機器と同様、モデムの場合も、構成部品が少ないほど信頼性は向上する（簡単なものほど壊れにくいということだ）。したがって、最新のエレクトロニクス（VLSIおよび表面実装部品）を駆使したモデムを選択するとよい。小型のモデムほど、必要上、こういった小型化技術（および信頼性向上技術）を採用する傾向がある。

サポート

購入したモデムを誰がサポートしてくれるのかということ、および受けられるサポートの種類を確認する。モデムに障害が発生した場合にサポートを受ける方法は2通りある。通常は、モデムの購入先の販売店にまず連絡することになる。したがって、購入前に、その販売店のサポート体制やサポート内容を確認しておく必要がある。フリーダイヤルによる24時間サポートが理想的である。

購入前に、販売員にサポート方針についての質問をしてみるべきである。サポート用の電話番号

があるかどうか。受け付け時間はどうか。モデムをテストするのは、夕方から夜間にかけての電話料金が安い時間帯になりがちであるため、その時間にサポートが必要になった場合にも対応しているかどうか。サポート電話はフリーダイヤルかどうか。問い合わせに迅速に対応できるだけの人員を配置しているかどうか(十分な人員がいない場合は、相手からの返答の電話を恐らく永遠に待つはめになる)。販売を担当した店員だけがサポートを担当するといったケースでは、サポートはないも同然である。

サポート方針はメーカーによっても異なっている。(社内をたらい回しされることはあるにしても)障害の解決に協力してくれるメーカーも多いが、相手にしてくれないメーカーもあるのだ。外国メーカーの場合は、ユーザーの国との間の電話回線が不足していて、20世紀中にはつながらない可能性も考えられる。販売店が問い合わせに耳を貸してくれず、モデムのメーカーに頼らざるを得ない場合、少なくとも連絡を取ることが可能でなければ困る。顧客サポート用の電話を備えた販売店はまれであり、フリーダイヤルに至っては皆無に近い。電子掲示板(BBS)サービスによる技術サポートがあれば便利だが、モデムに障害があってサポートを受ける場合なら、BBSへの接続自体が困難なはずだ。

製品保証は製造メーカーと販売店の両方が提供しているが、一般的にいって、販売店の保証の方が重要である。販売店の方が直接的な助言を求めやすいからである。

保証期間の長さは評価が簡単な項目である。モデムの場合は、最初の接続から90日間は保証されるべきである。良心的な販売店や製品であれば、1年保証も期待できる。

保証内容も重要である。最も簡単な保証としては、ユーザーから返品されたモデムと引き替えに代替品を送るという交換規定を設けている販売店の例がある。これに対し、販売店の社内規定で、代替品の送付ではなく返送品の修理を行うことになっている場合は、数週間、通信が行えなくなる。

返品可能という方針は、購入したモデムが特定の構成のコンピュータで動作しなかった場合にも便利である。わずかな非互換性のために、使用中のシステムでモデムが動作しないこともあり得る。そのような場合には、そのモデムを返品して、わざわざもう1つ買わなくても別の機種を試用できるからである。

製造メーカーの保証は、販売店のものよりも取り扱いに注意が必要である。一般的に、保証期間は、ユーザーではなく販売店に製品が売られた時点で開始される。そのため、予想よりも早く保証期間が失効してしまう。その上、正規の販売代理店以外から購入した場合には、メーカー保証が認められないことがある。そのため、モデムの購入時には、メーカー保証を受けられるかどうかを確認することが重要になる。メーカーが廃業した場合や、太平洋の彼方に消え去って連絡が不可能になった場合には、メーカーの保証は無効になる。

18.11　FAX

FAXはファクシミリ伝送(facsimile transmissions)を省略したものであり、これによって、『スタートレック』に登場する転送システムの能力を誰でも手に入れることができる(ただし、宇宙人やフェーザー砲は手に入らない)。世界中の任意の場所に光の速度で文書を送信できるようになるのである。FAXは紙を非物質に変えて送り出すのではなく、1つの文書を構成するイメージや情報を大陸を越えて移動させ、ほとんど同時に相手側で再生させる。したがって、受信側は、オリジナルに酷似した複製を手に入れることができる。これが、巧妙で合理的なファクシミリの仕組みである。

この点から言えば、FAXは遠隔コピー機、つまり、オリジナルの文書をセットした場所と複製を

排出する場所との間で、数千マイルの距離を隔てて複写を行う機械である。実際、Xerox Corporationが開発し、今では消え去ってしまった遠隔コピー機は、現在のFAXマシンの原型であった。

一方、機能面に目を移せば、FAXは書類を映すテレビの役割を果たしている。テレビ画像が多数の走査線で構成されているのと同様に、FAXマシンでも、イメージは一連の線として、一度に1本ずつ走査される。文書から読み取られたすべての線は、情報の連続的な流れに変換される。受信側では、別のFAXマシンがデータストリームを紙の上の白黒ドットに変換し、もとの文書のドットパターンを複製する。

そして、実使用上では、FAXは画像を送るモデムの役割を果たしている。欧米では、データは回線を通じて、アルファベットという数十個の記号を表す2進数のバイトとして送信される。一方、FAXマシンは、表意文字が支配する地域でそれと同じ目的を果たしている。漢字やカタカナをASCII方式のモデムで処理するのは、1匹のヤマアラシを丸ごと飲み込むような困難な作業であるが*1、FAXでは、喉に詰まらせることもなく消化することができる。したがって、当然ではあるが、世界に存在する200万台のFAXマシンのうち、約半数は日本で稼働している。

ただし、FAXは欧米のビジネス社会でも重要性を増してきている。紙に描かれたイメージをやり取りする場合、FAXは最も高速で費用効果の高い方法だからである。署名の終わった契約書、図表、グラフ、図面、ページレイアウトなど、すべてFAXを通してやり取りできる。FAXは、ビジネス情報を迅速にやり取りするためのほかの手段と比較してコストが安く、宅配便の数分の1であり、テレックスさえ下回っている。対抗手段になり得るのは、ASCIIデータを使った高速電子メールしかない。しかし、ボードビルから再上演の打ち合わせの席まで、あらゆる場所で口にされる言葉を借りれば、〝The best is yet to come〟(まだ最上には達していない)である。エンジニアは、FAXマシンとコンピュータを結合して、高速な自動グラフィックス通信システムを完成しようとしている。当初はFAXマシンを取り仕切る現場監督のようなささいな役割しか果たせなかったコンピュータは、FAXイメージの作成、管理、送信、受信、表示を行うFAXステーションになりつつある。FAXとコンピュータが結合すれば、電子出版システムを世界的な規模に広げたり、FAXイメージの世界をコンピュータ画面に持ち込むといったことも可能になる。コンピュータと組み合わせた最新のFAXシステムでは、紙をまったく使用せずに、投資に関するニューズレターを「PageMaker」や「Ventura Publisher」で作成し、夜のうちに世界中に配送することができる。

また、コンピュータは、大規模なコンピュータシステムやネットワーク用のFAXのゲートウェイにもなりつつある。メインフレームコンピュータとFAXとの結合には、高コスト(12,000ドル前後)と非互換性(初期のメインフレームFAX製品は、Group 3規格の制御下では機能しない)という障壁が立ちはだかるが、コンピュータFAXシステムは低コストであり、互換性も完全である。メインフレーム上のデータベースと世界中に分散されたグラフィックス情報とを、コンピュータが論理的に結び付けるのである。

FAXの起源

ファクシミリ伝送という概念は決して新しいものではない。さかのぼること1842年にAalexander Bainが、電気信号を解釈して紙の上に印を付ける電気機械装置の特許を取っている。それ以来、これと同じ原理を利用した新聞写真の伝送が長らく使用されてきた。

しかし、FAXがビジネスの中に広まったのはごく最近の現象であり、FAXはコンピュータと歩調を合わせるようにして普及が始まった。これには理由がある。デスクトップコンピュータは、IBM

*1 訳注：原著者は誤解しているようだが、もちろんASCII方式のモデムで漢字コードを送ることはたやすい。実際、モデムの通信仕様には、送信する文字コードに依存するような部分はまったく含まれていない(そうでなければ、バイナリデータの送信はかなり難しいことになる)。

PCという業界標準となるマシンが登場するまでは普及しなかったが、同様にFAXも、その爆発的な普及は、CCITT（国連の下部組織であるInternational Telegraph and Telephone Consulative Committeeのフランス語表記の省略形）が、ファクシミリでのデータ送信用の標準規格を制定するまで待たなければならなかったのである。

現在ではGroup 1と呼ばれている最初のシステムは、アナログ技術に基づき、周波数偏移変調を使用していた（300ボーのモデムも同様）ため、1ページ分の情報を送信するのに6分を要していた。Group 2ではアナログ技術が進歩し、1ページが3分以内と、送信速度が2倍になった。

FAX普及の大きな契機になったのは、全面的にデジタル技術を採用したGroup 3のFAX規格を、1980年にCCITTが制定したことである。データ圧縮技術と、最高9,600 bpsでの通信が可能なモデムを使用することによって、Group 3規格では1ページ分の文書を30〜60秒で送信できるようになった。また、データ圧縮技術のおかげで、送信速度がページ内のデータ量に影響されなくなった。データ圧縮アルゴリズムがその効果を発揮すると、送信データ量は5分の1から10分の1に激減する。一方、FAXモデムが通信状態の悪い回線に合わせて自動的にフォールバックを行って速度を下げるように、電話回線の状態が悪い場合はFAX送信の速度を遅くすることができる。

Group 3規格では、用紙上のデータに関して2種類のドット解像度（イメージの鮮明さ）が規定されている（解像度の差は送信速度に影響する）。1つは標準モードで、水平解像度が1,728ドット（1インチあたり約200ドット）、垂直解像度が1インチあたり100ドットである。一方、ファインモードでは、水平解像度はそのままで垂直解像度が2倍となって200×200 dpiになり、送信時間も倍になる。

1984年、CCITTは超高速ファクシミリ規格であるGroup 4を認可した。Group 4規格では、最高400×400 dpiの解像度が可能で、低解像度での送信速度も向上している。印刷用活字の品質にはとうてい及ばないが（写真植字機の解像度は約1,200dpiである）、Group 4の機能を最大限に生かせば、普通に読書をする場合の距離での人間の目の分解能力とほぼ同等の解像度までは実現することができる。ただし、現時点でのGroup 4のFAXマシンは、高速な専用回線を必要とし、ダイヤル呼び出しの装置としては動作しない。Federal Expressが運営していたZap Mailサービス（現在は中止されてりいる）では、Group 4規格のFAX装置が採用されていた。

コンピュータベースのFAX

実用性という点から見れば、今日、コンピュータベースのFAXの最も重要な用途は、すでにFAX装置を備えている場所と文書をやり取りすることにある。FAXに関しては、互換性の問題は生じない。Group 3規格に準拠していれば、グラフィックス情報は、すべてのFAX互換システムに対して互換性が保証されている送信形式に変換されるからである。

FAXマシンへの文書の送信にはいくつかの利点がある。FAXでの受信は基本的に自動で行われる。FAXマシンは回線に応答し、受信作業を開始する。伝送が終了すると回線を切り離し、次の送受信に備えて待機する。FAXマシンにおける無人操作は、単に可能だったからというだけではなく、最初からの設計思想だったのだ。コンピュータにFAXボードを装着すると、世界中のあらゆる場所にあるFAXマシンが、常時使用可能なリモートプリンタに変身するのである。

FAXとコンピュータの最初のドッキングは単なる握手程度のものであったが、現在でははるかに進展している。この2つの技術が初めて連結されたときには、両者とも単独の機器としての独立性を残しており、接点はシリアルポートだけだった。しかし、その後の技術革新のおかげで、今ではコンピュータにFAXボードを装着するという簡単な作業だけで、FAXマシンとコンピュータを一体化することができる。

コンピュータとFAXを初めて結合したのはXerox Corporationである。Xeroxは、本来はFAXマシンである自社の「895モデム」をコンピュータに接続した。このFAXマシンは、通常のFAXマシンと同様に、文書の走査、送信、出力を行うが、

制御はコンピュータが行っていた。コンピュータがFAXマシンにコマンドを送信して、電話をダイヤルさせ、受信側の装置グループに文書を伝送するのである。また、コンピュータはFAXのデータストリームにアクセスして、FAXでの送信前や受信後に、ディスクへの記録、文書保管、イメージのプレビューを行うこともできた。そして、ユーティリティソフトウェアを使用すれば、標準的なASCIIファイルをFAX互換のデータに変換することができた。

これに対し、新しいアプローチはFAXマシンをまったく取り除いたものである。このアプローチでは、コンピュータに内蔵したFAX互換の高速モデムを使用する。FAXイメージは、コンピュータ自体で作成するか、コンピュータに接続したイメージスキャナで読み込む。FAX文書を受信した場合は、モニタ画面に表示するか、標準的なドットマトリックスプリンタやレーザープリンタを使用して印刷する。ASCIIファイルやグラフィックスファイルからFAXフォーマットへの変換は、特殊なソフトウェアで行う。着信コールや発信コールの管理は、先のFAXシステムとコンピュータシステムを結合したシステムと同様である。送信の前後には、イメージをグラフィックスとして編集することもできる。

実際には、上記の2つのシステムはFAXとコンピュータの能力を一点に収束したものである。いずれのシステムであれ、コンピュータに取り込んだ後のFAXデータの処理方法は同様なのである。両者の唯一重要な相違点といえば、コンピュータとFAXマシンを接続したシステムは、それぞれが単独の装置としても機能するのに対して、コンピュータ内に組み込んだFAXマシンは単独では機能しないということである。また、FAXモデムをコンピュータに組み込んだ場合に比べて、単独の装置を組み合わせたシステムはコストがかなり高くなる上、オフィスでの設置面積も大きくなる。

いずれにせよ、コンピュータとFAXマシンが接続されていると便利である。両者が接続されていない場合は、まずコンピュータで文書を作成して印刷し、その後にFAXマシンで送信しなければならない。FAX文書を受信した場合に何らかのデータ操作を加えたければ、出力された用紙に対して行うしかない。スキャナがなければ、はさみと糊で作業することになる。

これに対して、コンピュータとFAXマシンが接続されている場合は、ペイントソフトや電子出版エディタを使用して画面上で編集を行うことができる。OCRソフトを使用すれば、FAX文書からASCIIテキストへの変換も可能である。さらに、適切な変換ソフトを持っていれば、ワードプロセッサなどのソフトウェアでFAX文書を作成できるという利点もある。そして、作成した文書は、印刷せずにFAX送信することができる。

コンピュータ上でのFAX文書の作成には、解像度が明らかに向上するという利点もある。スキャナでの読み込みには原理的な限界がある。文字や線の端が走査セルの端と完全に一致していない部分では、対応するドットが白と黒のいずれになるかが不定である。そのため、走査後の文字の端にゆがみやギザギザが出やすい。これに対して、コンピュータで作成し、FAXマシンで印刷した文字の場合は、各ドットが最適な位置に打たれているため、明らかに解像度が高くなる。したがって、コンピュータ上で作成したFAXテキストやグラフィックスの方が、スキャナで読み取ったものよりも鮮明である。Windows用のドライバを使用すれば、通常のプリンタで印刷するのと同様の方法で、FAXへの出力を行うことができる。

コンピュータをFAXシステムの頭脳として使用することもできる。この方法を用いたシステムでは、同一文書を数百か所に送信する場合に、Group 3 FAXに数百回も文書をセットしなくても、コンピュータのキーボードから一連の指示をしてやればすむ。FAXに接続されたコンピュータのプログラムによって、電子メールの宛先リストに掲載されていればそのすべての相手に、1か所へ送信するのとほとんど変わらない手間でコピーを送り届けることができる。

コンピュータベースのFAXの大きな欠点としては、単独のFAXマシンに比べて、操作がかなり複雑になるという点があげられる。単独のFAXマシンであれば、秘書でも重役でも誰でも操作できる。しかし、コンピュータベースのFAXシス

テムの場合は、コンピュータの操作に関する基礎知識（および自信）が必要なほか、マシンの起動、ソフトウェアの実行、メニュー操作、周辺機器の電源投入や使用準備の確認などの作業が必要になる。単に文書を送信するだけであれば、FAX専用マシンを使用した方が、簡単かつ低コストで、面倒も少ない。

コンピュータベースのFAXシステムは、FAXマシンを補完する技術である。ワープロで作成した文書をアンカレッジや台北に送信したい場合、コンピュータベースのFAXシステムの方が迅速に送ることができ、ドットマトリックスプリンタで印刷してからFAXマシンにセットするという手間をかけずにすむ。PC Paintで描いた絵や、PageMakerで作成した図形入り文書にも同様のことがいえる。コンピュータベースのFAXシステムは、電子的なイメージを操作して優れた品質の出力を引き出すためのプログラムを持っており、送信先に届けられる文書は単なるFAXマシンよりも高品質である。

市販のFAX製品

FAXモデム用の低コストのチップが開発されたおかげで、FAXをコンピュータに組み込む場合の費用はこれまでよりも安くなった。ボードメーカーは、低コストの部品を少量使用するだけで、Group 3規格に完全に準拠したモデムを製造することができる。そのため、FAXモデムの価格は今や300ドルを切っている。ほぼ例外なく、コンピュータ用FAXモデムには、Rockwell CorporationのVLSIチップが使用されている。このチップによって、価格が下がり信頼性が向上しただけでなく、回線ノイズに対する耐性（または感受性）に関して、コンピュータ用FAXモデム間の差がなくなった。また、電話システムとGroup 3規格の両方に必要な信号について、完全な互換性が保持されている。

ただし、FAXボードはすべて等しいというわけではない。4,800bpsという半分の速度しか出せない一部のボードでは、FAXの送受信に2倍の時間がかかる。FAXに対して何も求める気がない場合には、このようなボードを選択すればよい（ただし、FAXについていろいろ学んでしまった今では、FAXに何も求めないということはないだろう）。ボード間のもう1つの違いは、インテリジェント機能である。FAXボードにはインテリジェント型ボードとダム型ボードがある。

現行規格に照らせば、旧型FAXボードはダム型ボードということになる。FAX文書の送受信は可能だが、ボード自体にインテリジェント機能がないため、送信のスケジューリングや多数の宛先への自動送信は行えない。また、動作のすべての手順をホストコンピュータが制御してやらなければならない。

対照的に、インテリジェント型FAXボードにはマイクロコンピュータが組み込まれている。ホストコンピュータは、ボードが行うべき動作を指示し、動作の詳細はボード自体の頭脳が制御する。このように作業を分担しているため、ホストコンピュータは、FAXの送信時間に影響を与えずに、マイクロプロセッサの能力をほかの処理に向けることができる。ダム型ボードでは、高速なビット伝送速度でのデータ処理のために、コンピュータのマイクロプロセッサの能力のほとんどを占有してしまうため、バックグラウンドでFAXを送受信することは不可能である。FAXボード上にマイクロプロセッサがあれば、ボード側のマイクロプロセッサがFAX送信の負荷の大部分を担当することによって、コンピュータ側のマイクロプロセッサがほかのアプリケーションを実行している間に、FAX文書を処理することができる。そのため、ホストコンピュータをほかの目的に使用しているときでも、FAXの送受信が可能である。

ただし、FAXボード上のマイクロプロセッサは、バックグラウンド動作に必須というわけではない。ダム型FAXボードの中には、「DoublesDos」や「DESQview」などのように、専用ソフトウェアを使用するか、あるいはマルチタスク環境で使用することによって、バックグラウンドでの動作が可能なものがある。ただし、このようなダム型製品を使用すればバックグラウンドでの動作は可能だが、好ましくない点もある。コンピュータが複数のタスクに時間を割かなければならないため、システム全体の速度が低下するのである。

市販されているFAX製品は、バックグラウンド

機能に様々な違いがある。FAXに関するタスクは単一の作業ではすまない。FAXボードは、ファイルの送受信だけでなく、ASCIIファイルからFAXフォーマットへの変換、発信のスケジューリング、エラー管理（発信時に話し中の信号を受信した場合など）も行う必要がある。バックグラウンド機能への需要が高まっているにもかかわらず、これらの処理をフォアグラウンドで行う製品も依然としてある。

FAXに関する機能をすべてバックグラウンドで行う必要があるかどうかは、システムの利用方法と使用者によって異なる。一般的に言って、送信に関してはバックグラウンドで動作する必要はないが、受信に関しては必要である。

インテリジェント型のFAX製品は、マイクロプロセッサ（それも、比較的高価な種類のもの）を装備しているという定義からいって、どうしても価格が高くなる。また、ホストコンピュータの介入なしにFAXボードをバックグラウンドで動作させるためには、かなりの量の部品や補助回路が必要である。マイクロプロセッサ以外にも、64Kバイト以上のRAMやPROMなどのチップが余分に必要になる。さらに、マイクロプロセッサを搭載することで、開発期間がかなり延びることになり、これがまたコストを押し上げる。

コンピュータベースのFAXシステムの間で差が激しいのは、ソフトウェアである。大部分のシステムは、メニュー方式を採用して、複雑になりがちな処理を管理可能なレベルにとどめている。しかし、メニュー階層には製品ごとにかなりの差があり、リスト送信機能を例に取っても、操作が簡単に速く行える製品もあれば、複雑で手間がかかる製品もある。

そのほかの機能の差も大きい。たとえば、送信前や受信後にイメージの編集処理を行えるシステムもあれば、ほかのソフトウェアで処理しなければならないものもある。また、100ページの文書を一度に送受信することが苦痛にならないシステムもあれば、21世紀まで待たされるのではないかと思うほど時間のかかるものもある。

言い換えれば、コンピュータベースのFAXシステムを選択するということは、単にFAXボードを購入して、拡張スロットに装着するというだけの作業ではない。FAX機能を活用するためには、最初に必要な機能が揃っている優れた製品を探し出さなければならないということである。

第19章

大容量記憶システム

大容量記憶装置は、必要なデータを素早く格納したり引き出したりできる装置だが、メモリとしての用途には適していない。大容量記憶装置は、何Mバイトものデータを記憶し、それを瞬時に引き出せる設計でなければならない必要性から、従来より磁気ディスクが使用されてきたが、現在では、ほかの技術やフォーマットがそれぞれ専用の目的に合わせて使用されており、磁気ディスクに代わる大容量記憶装置の主流の座を狙っている。

〝天才〟と利口なだけの人の違いは、その記憶力である。どちらも素早く機知に富んだ反応を示すが、本当の天才は、本当の答を探すために、以前の記憶や経験や知識を活用する。パーソナルコンピュータもこれと同様である。

現在および将来において、必要なプログラムやデータを記憶する手段がなければ、パーソナルコンピュータにいくら高速なマイクロプロセッサを積んだところで、無意味である。このプログラムやデータの記憶手段の1つとして、長期間のデータ格納の役目を担っているのが大容量記憶装置である。

手元に置いておく必要はないが、捨ててしまうのは惜しいという情報を入れておく大容量記憶装置は、簡単にいえば〝電子物置〟である。麦わら帽子、スカッシュのラケット、壁紙の残りなど、物置に眠っているが、記憶からはほとんど消えかかっているような様々な持ち物を探すのと同じで、大容量記憶装置に入っているデータを探す場合、見つけ出すまでに意外と時間がかかることもある。また、整理しておかないと、いつまでたっても捜し物が見つからなかったり、すべての物が一斉に目の前に崩れ落ちてくることもありうる。

パーソナルコンピュータに使用する大容量記憶装置には、いくつかの種類がある。ほとんどのパーソナルコンピュータで主要な大容量記憶装置といえば、ハードディスク、そして容量は小さくなるが、フロッピーディスクドライブがこれに続く。そして、このどちらもが磁気記録技術をベースにしたものだ。また、特定の目的に合わせた記憶装置としては、これ以外の技術が日進月歩を続けており、特にレーザーを用いたオプティカルシステム(光磁気ディスクなど)の発達がめざましい。また、急いで取り出す必要のないデータを記憶する大容量記憶装置としては、テープストリーマなどがよく利用されている。

上記のようなメディアは、どれをとってみても大容量記憶装置特有の性質を持っている。何千バイト、何百万バイトという多量のデータを一度に扱い、情報をオンラインで記憶することもできる。大容量記憶装置では、その膨大な記憶能力を活用するため、データをマイクロプロセッサの直接的な制御の範囲外へ置いている。マイクロプロセッサからすべてのデータへ直接アクセスできるコンピュータのメモリとは異なり、大容量記憶装置に格納されているデータは、使用するには2つのステップを踏む必要がある。まず最初に、情報を大容量記憶装置からコンピュータのメモリへと移さなければならない。その後でマイクロプロセッサによってアクセスが可能となるのだ。

大容量記憶装置はオンライン、オフラインのどちらでも使用できる。オンラインの記憶装置として使用すれば、マイクロプロセッサからのコマンドで、即座にアクセスが可能だ。また、オフラインで使用すれば、ここからシステムに必要な情報を与えるまでに、いくらかの手間はかかる(カートリッジをドライブに入れることなど)。ニアライン(near-line)記憶装置という用語が使われることがあるが、これは情報がすぐに使用できるようにはなっていな

いものの、マイクロプロセッサのコマンドですぐに使用できるところに移動させることができるシステムを指している。「ジュークボックス」という名前が付けられたCD-ROMカートリッジ（テープカートリッジのこともある）の自動選択装置がニアライン装置の最も良く知られた例である。

情報を大容量記憶装置からメモリへと移す場合に決め手となるのは、保存してあるデータへどれだけ速くアクセスできるかということである。このアクセスに要する時間は、最も速いハードディスクで0.01秒以下というものもあれば、テープシステムでは1,000秒もかかる場合もあり、その差は10万倍にもなる。

オフラインとオンラインの記憶装置を基本的な性能だけで見た場合、最も良いオフライン記憶装置でも、最速のオンラインシステムと比べれば、アクセス時間はかなり長い。最も速いディスクカートリッジでも、オフラインデータへの最短アクセス時間は数秒という単位になってしまうが、これは必要なカートリッジを見つけてからロードするまでに時間がかかるためである。一方、最も遅いオンライン記憶装置と最速のオフライン記憶装置のアクセス時間は大体同じ位である。オンラインになっていても、長いテープに書き込まれたデータのを探し出すのに比べれば、オフラインでカートリッジを用意するのにかかる時間は、かなり短いといえるからだ。

大容量記憶装置では、速度以外にも様々な点に違いがある。容量の点で見れば、160Kバイトで片面記録のフロッピーディスクドライブから、何Gバイトもの容量を持つヘリカルテープシステムまで様々である。コストの点でも、100ドルのものから10,000ドルのものまである。

このように実に様々な選択基準がある中で、自分が使う装置を決定する場合は、大容量記憶装置の基礎となっている技術をよく調べることだ。大容量記憶装置のシステムはいずれも、1つの原則で統一されている。すなわち、記憶する情報をビット単位に分離し、組織化するために、ある種の機械的な動作を使用するということである。つまり、データの各ビットを保持するために、記憶メディアに対して何らかの物理的変化を加えるのである。穴を焼き付けたり、ビットの一部を消去したり、色を変化さたり、あるいは、最もよく行われているのが磁界を変えるという物理的変化である。

19.1　磁気記憶装置

コンピュータ用の大容量記憶装置としては、**磁気記憶装置**が長い間好んで使われてきた。磁気記憶装置における一番の長所は、不揮発性であることだ。つまり、大抵の電子式、つまり半導体記憶システムとは異なり、磁界を使った記憶装置の場合、一度記憶すれば、その状態を維持するためにエネルギーを時々与えてやることなどは必要ないのである。

要するに磁気記憶には永続性があるということだ。磁界には半永久的に不変というすばらしい特性がある。それ自身では動いたり変化したりはしない。一方、電気回路で用いられる電気はまったく逆の性質を持っている。電気は常に動いており、可能な限り素早く自らを放散させる性質を持っている。この違いは基本的なところにある。磁界は原子のスピンによって作られ、物理的に位置が固定される。また、電荷は動く素粒子（主に電子）によって運ばれるが、一箇所に留まることを拒むだけでなく、ひとつひとつの電荷がどこへ進むか予想することはできないようになっている。

しかし、適当な力を適度な量与えると、磁気のスピンは不安定になりいろいろな方向へ向かって動きはじめる。磁界は完全に永久的というよりはむしろ変化を受けやすい性質であるため、磁気はデータ記録に適しているのである。もし磁界が永久的で変化しないものであったなら、情報を記録できないということになってしまう。また、磁界が変えられないとしたら、情報に何かを付け加えることもできなくなる。これはちょうど、ダイヤモンドに文字を刻もうとする場合に、道具がバナナしかないという場合と同じである。ダイヤモンドのどの面にも、決して文字は刻めないのである。

基本的な素粒子のレベルで見ると、磁気のスピンは永久的であるが、これが集まった場合は、あちらこちらへ動き回る。単一のスピンは一つの方向しか持たないが、その方向はどちらでもとりうる。2つの近接した素粒子が互いに逆方向のスピンを持つと、より大きなマクロ的視点から見れば、これらの素粒子は互いに打ち消し合う。

このようにスピンの方向が変わる場合には、何らかの力が働いているのだが、これこそが磁気記憶装置が働くための鍵となっている。この力は磁界に変化を与えることができ、一度この磁界が変化すると、ほかの力が働きかけてくるまでは、その力がその状態を維持し続けるのである。

磁界を最もよく変化させるものは、外部からの別の磁界である。永久磁石の中には、十分に熱するだけで消磁されてしまうものがあるが、この消磁という現象も、実際のところ、磁性体内部の無数の微小磁界の相互作用によるものである。

電子技術と記憶システムは、それぞれ働きが異なっているにもかかわらず、磁力や電荷は同じ基本的な自然力を示すものである。どちらも電磁現象というわけだ。その共通性のため、特に電子技術設計者は磁気記憶装置を好む。磁界は電気エネルギーの流れで作ることができる。したがって、次第に消えて行く電荷でも半永久的な磁界を作ったり変更したりするのに使用できるのである。これはちょうど、いつかは死んでゆく彫刻家が何世代にも渡って生き残る彫刻を作ることができるということにも似ている。

一度出来上がってしまえば、磁界というものは基本的には自分でそれを維持することができる。磁界とは、基本的に全宇宙を構成している微細な素粒子によって示される特性であるため、維持する場合にもエネルギーは必要としない（少なくとも現在の物理学ではそのようにいわれている）。基本要素の素粒子を超顕微鏡的に見ると、磁界を形成しているスピンは、大抵が変化できないようになっており、実際に変化もしていない。普通はこのスピンからは何も引き出すことはできず、このスピンによって何らかの作用が発生する場合でも、スピンからエネルギーが放出されるわけではない。スピンは、たとえば、大量に使用して電荷の流れをそらすなど、ほかの電磁現象に影響を及ぼすことができる。しかし、このような場合、システム

のすべてのエネルギーは電気の流れから生じている。磁気はゲート（門）の役割を果たしており、柵から逃げようとする牛にあたるものが電子である。

記憶システムにおいて有用な磁界は、我々が見ることのできる物における変化を計測したり、その変化に影響を及ぼしたりできるほど大きい。このような大きさの磁力は、基本要素のスピンである、たくさんの微細な磁界が集まった結果生じたものである。磁界は超顕微鏡的な（電子顕微鏡でなければ見えないような）素粒子が持つ1つの性質である（厳密には、磁界は素粒子そのものから作られていると現代の科学ではいわれているが、我々がコンピュータの磁気記憶装置を考える場合にはそこまで細かく考える必要はないだろう）。

磁気素材

鉄、ニッケル、コバルトの3元素は、磁性を帯びることができる。この磁性物質では、ほかの性質と同様に、混ぜて合金にすることで磁性の強度を高めることができる。合金にする場合、磁性物質同士で混ぜ合わせるだけでなく、非磁性物質（特にサマリウムのような希土類金属）と混ぜ合わせることもある。

分子レベルでは、素粒子がそれぞれ固有の磁界を持っているものはたくさんある。しかしその素粒子も肉眼で見えるレベルでは磁石のようには作用しない。これは、構成する素粒子がランダムに寄り集まっているため、それぞれの磁界を打ち消し合っているためである。一方、永久磁石における素粒子の大半は、同一方向へ向かって並んでおり、この素粒子によって、その元素の磁界が出来上がるのである。

いくつかの物質は磁性を帯びることができる。つまり、その物質を構成している素粒子の持つ磁界が、実際の大きな磁界となって現れることができるということだ。たとえば、軟鉄を強い磁界に置いた場合、その軟鉄は磁気を帯びるようになる。

磁気記憶装置

電磁石によって強い磁界を作ることができれば、それから磁気記憶装置システムを作ることが可能になる。電気エネルギーは磁界を変えるときに使用でき、そのエネルギーはその後で取り除くこともできる。ひとかたまりの軟鉄を、電気を加えていない電磁石に付けて放置しておく実験を考えてみよう。あなたがその場所を離れていた間、電磁石に電気を通した人がいないかを調べるには、その軟鉄に磁界ができていないかを見るだけでわかる。1ビットの情報を記憶することは、この原理と同じである。

もっと多くの情報を記憶するには、情報をうまく並べる必要がある。ひとつひとつのビットの並び方を知らなければならないのである。磁気記憶装置システムでは、データがうまく連続して移動できるような形に、情報が物理的に並べられる。つまり、ミリ秒という短い時間の内で明滅する電子的な光点の代わりに、磁気のパルスが、紙の上に点を並べて描かれたような、始まりから終わりまで一本につながった長いチェーンとして記憶されるのである。このような物理的な配列だと、紙に並んだドットを走査するだけで、シリアル転送システムに用いられる一時的なデータ配列へと直接変換できる。最初のドットは、連続した流れの中の最初のパルスとなり、それに続くドットのひとつひとつは、紙が走査されるのに合わせて、データの流れを正確に追っていくのだ。

磁気記憶装置では、紙の代わりにほかの形態のメディアを使用する。一般的には、磁気的に反応する混合物を塗ったディスクや、プラスチック製の長いリボンが使用されている。メディアの形態は、システムから情報を検索するスピードに直接的な影響を与える。

デジタル磁気システム

コンピュータ用の大容量記憶システムは、オーディオ用やビデオ用に使用されているテープシステムとは、基本原理や操作性の点で違いがある。オーディオ用やビデオ用カセットテープは、アナログ信号で記録するようになっているが、コンピュータ用の場合はデジタル信号が使用されている。

ここ数年のうちに、デジタル方式のオーディオテープレコーダやビデオテープレコーダは、ますます購入しやすくなってくると思われる。アナログ方式のオーディオテープやビデオテープは、レ

コード盤がコンパクトディスクに取って替わられたように、歴史を説明するだけのものとなっていくだろう。

アナログ方式のシステムでは、テープ上に書き込まれた磁界の強さは、記録された信号に比例して変化する。記録された磁界は6段階以上もの範囲の磁力の強弱をつけることができる。一方、デジタル方式の場合では、通常、パルスのパターンによるコードを使って記録を行ない、すべてのパルスは完全に同じ強さを持っている。

アナログからデジタルへと技術が移る根底となっているものは、正確さを第一に考えているデジタル記録の性質である。アナログ記録をどうしても劣化させてしまうノイズについては、デジタル記録はその影響を受けないような工夫がされている。アナログ記録でコピーが取られるたびに、必要な信号に付きまとうノイズは、基本的には倍々になっていく。これは、必要な情報の部分はそのまま変わらないが、元の情報に存在するノイズが、記録先のメディアに存在するノイズに上塗りされて2倍になるためである。しかし、アナログ記録にとって、このようにノイズを加えていくことは、ニュアンスを維持して記録する上では必要なことである。アナログ信号においては、ほんの小さな変化が加わっただけでも全体の情報に影響を及ぼすのだ。そして、アナログ方式では、その変化がノイズであるか、必要なニュアンスであるのかの区別を付けることはできないのである。一方、デジタル方式ではノイズと信号を明確に区別することができる。デジタルスレショルド（論理限界値）よりも小さなノイズは情報として記録されず、その場合にもニュアンスを失うことはない。このように、デジタル記録システムでは、コピーを作る際にもそこにノイズを介入させないようにすることが可能である。また、アナログ記録の場合は、メディアの劣化によってもノイズが侵入する可能性があるが、デジタルの場合は、年数が経ってメディアが劣化した場合にも、大抵のノイズは除去できる。実際、うまく設計されたデジタルシステムでは、信号における小さなエラーでさえも訂正が可能となっている。

飽和状態

デジタル記録では、磁界の強さの違いをすべて無視しているため、きわめて強い場合を除いて、ノイズは除去できる。デジタル方式のパルスで記録された情報は、〝有〟〝無〟という明確な区別の仕方でデジタル記録が行われる。アナログ方式の場合は、メディア上にごく小さな磁性粒子を並べることで、磁界の強さに変化を付けている。アナログ記録では、電磁石の磁界が強くなるにつれ、磁界の強さとほぼ比例して、より多くの微小な磁性粒子が磁界に並ぶことになる。一方、デジタル方式の場合は、信号の中間レベルを気にする必要がないため、単にテープが保持可能な最も強い磁界を並べていくだけでよい。水を一杯に含んだスポンジがそれ以上の水を吸えないのと同じように、テープ上の磁性粒子が限界の強さまで磁界を持ったとき、この状態における信号のレベルのことを**飽和状態**と呼ぶ。

磁気を持たない状態から飽和状態までの幅を持っていることによって、磁気記録では幅広く磁界の強弱が付けることができ、あいまいさを廃するデジタル情報の記録には適していると思われるが、このように白黒をはっきりと区別させることは容易なことではない。磁気記録のシステムでは、可能な限り高密度で情報を記録できるように、1つの磁性粒子で1ビットのデータを記録するぐらいにまで情報を詰め込んでいる。磁性粒子を消磁することは非常に困難だが、磁性粒子の極性の向きを変えることは比較的容易である。デジタル方式の磁気記録システムでは、このような極性の変更を利用しており、テープ上の磁性粒子が持っている磁界の向きを変えることでデータを記録している。磁気記録のシステムでは、一方向に磁界が飽和状態になったテープと、その反対方向に磁界が飽和状態になったテープとの違いが重要なのである。今日のデジタル方式の磁気記録システムでは、ほとんどすべてがこの大きな差を利用している。

保磁力

磁気メディアについての記述を読むと、**保磁力**という言葉を目にすることだろう。これは、磁界がどれだけ強く変化に耐えることができるか、い

い換えれば、磁気メディアがどれだけ強い磁界を記録できるか、ということになる。どのようなメディアでも最初からノイズを含んでいるため、それに対抗できるように、できる限り強い磁界で情報を記録する方が望ましい。高い保持力を持つメディアは、保持力の低いものより変化に対する耐性が強いため、外部からの影響による変化や保持力の低下にも強い。当然、このように、より高い保磁力とそのより大きな変化への耐性が求められるということは、磁気記録のシステムでは、メディアを最大限に磁化させるためには、より強い磁界が必要であるということだ。また、これを扱う機器においても、高い保磁力を持つ素材を活かせるような特別の設計がなされなければならないのである。

その性質上、メディアと機構が一体化されているハードディスクの場合、メディアの保磁力と記録装置の組み合わせはメーカーによって決められている。この2つの組み合わせはハードディスク装置が製造されたときから最後まで変わらないのである。しかし、メディアを取り出すことのできる装置（フロッピーディスクドライブ、カセットテープ装置など）では別の問題が生じることがある。メディアによって様々な保磁力がある場合、ドライブに間違った保磁力のメディアを使ってしまう可能性が出てくるのである。この問題は、フロッピーディスクを使う際に費用をケチって、HDまたはED用のドライブにDD用のフロッピーを使おうとした場合などに、ときどき起こることなのだ。

また、ドライブとメディアを適合させる場合に、アップグレードも難しい問題としてあがってくる。より高い性能を持ったメディアを使うためには、それに合わせてハードウェアをアップグレードさせなければならない。メディアが発達しても、それ以前のハードウェアを使用していると、より高い性能は引き出せない場合がある。

記憶メディアが小さくなっていくのに従って、それに使われている磁気素材の保磁力も増加してきた。メディアが最初に持っている磁界が強くなれば、データが記録される場所はより小さくてすむ。保磁力が高くなるにつれて、より多くの情報を、新しい記憶フォーマットのより小さく限られた中に押し込むことができる。たとえば、3.5インチフロッピーの磁気コーティングの保磁力は、5インチのそれよりも、ずっと高いものになっている。また、DC2000テープカートリッジの場合は、旧来のDC6000よりもずっと高い保磁力を持っている。現在ある小型のハードディスクドライブは、昔の大きなものと比べると、はるかに高い保磁力を持っている。

保磁力は温度によって変化する特性である。メディアの温度が高くなるにつれて、メディアが磁界の変化に耐えられる力は減少する。これは、永久磁石を加熱すると磁力が無くなってしまうのと同じ理由である。磁気メディアでは、**キュリー点**と呼ばれる、物質ごとに異なる温度を境として、保磁力が一気に低下する。光磁気方式の記録システムでは、レーザー光線を使って磁気メディア上の小さな範囲を加熱し、メディアを傷めない程度の強さで磁界を変化させるという方法で、このような保磁力の変化を活用している。キュリー点より高い温度で加熱された範囲（磁気の影響を受けるすべての範囲ではなく）だけが、外部の磁界によって変化する。レーザー光線は、従来のディスクドライブにおける読み書きヘッドより、はるかに小さな点へ正確に焦点を当てることができ、データをメディア上のより小さな領域に記録することができる。光学技術の助けで、同じサイズの磁気ディスクでも、より多くのデータを記録できるのである。また、光磁気方式のメディアでは、常温に保たれている限り、磁気ノイズ（保磁力の低い磁界を変える可能性がある）の影響を受けない耐性がある。

保磁力を計測するときの単位は、**エルステッド**（Oersted）である。フロッピーディスクの保磁力は、300～750エルステッドとなっている。光磁気ディスクドライブのメディアにおける保磁力は、6,000エルステッド以上もあることが多い。

残磁性

磁気メディアについての記述で見かけるもう1つの言葉、**残磁性**とは、メディアがそこに発生した磁界をどれだけの間保持、記憶できるかを示す性質である。磁気メディアは、永久に磁界を記録

することもあるが、記録されている磁界は、記録された瞬間から劣化が始まる。いわゆる永久記録におけるこのような劣化を防ぐためには、この磁気的に記録されたデータを、定期的にリフレッシュしてやる必要がある。たとえば、メインフレームのコンピュータライブラリーで記録したテープは、定期的に（数ヵ月に一度から数年に一度。記憶装置を管理している人の考えや、偏執症の度合いによって異なる）リフレッシュされる。目に見える劣化が確認できるまでには数年はかかる（10年以上のこともある）とはいえ、テープを管理している人は、リフレッシュなしで大昔に記録されたままメディアに信頼を置くことはできないだろう。

もし、あなたが磁気記録が永久とはいえないことを心配するならば、専門家が行っていることと同じ、記憶装置のリフレッシュを行えばよい。リフレッシュは実際の作業としては、バックアップを取った後にハードディスクを復元したり、フロッピーディスクのコピーを取ったり、単に新しいテープへバックアップを取っておくことなどである。最も使用度が高く、かつ使用において気を使うことも多い記憶メディアであるハードディスクでは、完全なリフレッシュを行うためには余分な手続きが必要となる。最初にハードディスクのバックアップを取ったあと、データを復元する前に、再フォーマットをし、領域を確保しなおすのである。低レベルのフォーマットでディスク上に付けられるアドレスマークも時間の経過によって劣化し、このような磁気マークは低レベルのフォーマットを行う過程でのみ書き込まれる（または書き込みし直される）ため、単純なDOSフォーマットよりも低レベルの再フォーマットの方が望ましい。このようなセクタのマークを不注意で変更してしまうと、〝Sector Not Found（セクタ未検出）〟やそれに類するエラーが表示されることもあり、DOSではデータの修復が不可能となる。低レベルのフォーマットでこのようなデータを書き込みし直すことで、始末に負えない古いディスクも若返らせることができる。

Symantec Corporationの「Norton Utilities」や、Central Point Softwareの「PC Tools」など、数種のハードディスクユーティリティソフトは、特別な〝非破壊〟低レベルフォーマット機能を持っており、これを使うことでハードディスクを若返らせることができる。その場合は、ディスク上のある場所に記録されているデータを、そのディスクの別の場所にいったんコピーし、元のセクタを低レベルで再フォーマットすることでリフレッシュした後（セクタの識別マークも含む）、元のデータをトラックに書き込み直すということが行われる。これらのソフトウェアの良い点は使いやすいということだ。これらのユーティリティソフトでは、ディスクを若返らせる作業をする場合に、ディスク全体のバックアップを取っておくことを勧めているが、バックアップディスクをすべて復元する必要はないようになっている（まれにではあるが、この作業がうまくいかなかった場合のために、バックアップを取っておくのである）。

磁束遷移

デジタル情報の〝1〟と〝0〟は、通常は、磁界が向いている絶対的な方向を表わしているのではなく、ある方向から別の方向へと磁界の向きが変わることに対応している。一方向の飽和状態から反対方向の飽和状態への変化は、磁気変化の中で最も検出しやすいというメリットがあるのだ。この磁界の劇的な変化は、磁界または磁束が2つの状態の間で遷移することから、**磁束遷移**と呼ばれている。最も単純な磁気記録システムの場合、磁束遷移はデジタル情報の〝1〟と〝0〟の間の遷移を指している。

当然のことではあるが、システム内ではいつ磁束遷移が起こるかをわかっていなければならない。さもなければ、情報を見逃してしまったことにずっと気付かないままになってしまう。磁気メディアと記録システムは、システム側が磁束遷移が発生した時点がわかるように、お互いに同期していなければならない。デジタル記録では、最初に考えていたよりも複雑な仕組みが必要なのである。デジタル方式の磁気記憶では、1ビットずつ単純に記録するというのではなく、データを整然とした状態に保つ精巧な符号化システムが必要となる。

19.2 データの符号化

1つのデジタルビットを記録するために、1つの磁束遷移を割り当てるということは可能だが、これは最良の方法とはいえない。たとえば、磁束とデータの関係を1対1に対応させた場合、エラーを防ぐために、記録メディア上のパルスの列を回路構成上のデータ読み取り期待値と完全に同期させなければならず、実際にはメディアの速度をデータ転送率の期待値に厳密に一致させるといったことが必要になる。両者が一致していないと、すべてのデータは読み取りや書き込みが正しく行われなくなってしまう。メディアの速度とデータ転送率とを一致させるには、ディスクを数回転させなければならないが、同期状態に戻るためには、1回転ごとに十数ミリ秒以上の時間が必要になるだろう。

磁気ディスク上で余分に磁束遷移を発生させることによって、磁気メディアのひとつひとつの磁束の変化の意味の定義付けを補助すれば、正確な速度制御や、記録されているデータを同期させるための物理的な方法をほかに用いる必要がなくなる。一般的なすべての磁気記録システムでは、データを非同期的に記録するのに都合の良いこの方法を用いている。しかしながら、同時にこのようなすべての非同期式記録方式では、同期されていない磁束遷移によるパルスの列から意味を捉えるのを助ける制御情報が必要になる。

単密度記録

初期における磁気デジタル記録方式の1つとして、**周波数変調**(FM)記録と呼ばれるものがあるが、この記録方式では、磁束遷移が起こり、デジタルビットが記録されていく所に、**クロックビット**と呼ばれる特別な磁束遷移によって印が付けられる。このクロックビットによって、システムの同期化を可能にする周期的なパルスの列が形成されるのである。2つのクロックビットに対応する磁束遷移の間に磁束の変化があれば、それはデジタルの"1"を表わしているのであり、クロックビットの間で磁束遷移がない場合はデジタルの"0"ということになる。

このFM方式では、周波数にはある程度の幅の許容範囲がなければならない。つまり、FM方式では、クロック周波数が完全に正確でなくても、クロックビット間でパルスビットがあるかないかを確実に検出できるのである。また、FM方式での帯域幅は非常に狭いため、回路の許容範囲はそれほど重大な問題とはならない。一方、FM方式の欠点は、データの各ビットを記録するのに2つの磁束遷移が必要なため、ディスク上の実質的なデータ記録密度が最も低くなるということである。

初期のデジタル磁気記憶装置ではFM技術が使用されており、しばらくの間はFM方式が主流となっていたが、データ記録の方法が進歩してからは、FM方式は参考技術といった存在となっており、**単密度記録**と呼ばれることも多い。

倍密度記録

単密度という言葉があるからには、何かこれよりも良い技術があるのではないかと思われるだろうが、それが**修正周波数変調**(MFM)記録または**倍密度記録**と呼ばれるものである。この記録方式はかつてパーソナルコンピュータのハードディスクにおける符号化システムとして広く使用されていたもので、現在でもパーソナルコンピュータのフロッピーディスクドライブに使用されている。倍密度方式では、単密度記録方式の障害となっていたクロックビットを削除することによって、磁気メディアに倍の密度で情報を詰め込むことを可能にしている。

倍密度記録方式では、クロックビットの代わりに、一定の期間内で磁束遷移がなければデジタルの"1"とし、ない場合には"0"とする形で記録が行われる。磁束の遷移が離れすぎないように、"0"が連続する場合には、必ずその間に特別な磁気反転が追加される。

GCR方式

倍密度記録では、基本的にデータの1ビットごとに1つの磁束遷移を行うが、これはディスクに情報を詰め込む上で最も密度の高い方法ではない。倍密度記録と比べてさらに2倍の情報をシステムの中に記録できるほかの符号化技術がある。

FM方式とMFM方式では、データのビットとディスク上の変化の関係が一対一で対応しているという共通の特徴を持っている。両者のこのような関係は、情報を符号化するのにわかりやすい方法ではあるが、これが唯一の符号化の方法というわけではない。さらに、このような厳密な関係では、必ずしも記憶メディアは最大限有効に利用できない。

データの符号化においてこれに代わる基本的な方法は、ビットのグループを磁気記憶メディア上に磁気パターンとしてマップするという方法である。この方法で情報を符号化することを**GCR方式**(Group Corded Recording)と呼んでいる。

群符号化(グループコーディング)は見た目はバイナリの暗号のように見える。アルファベットの各文字をほかの何かに対応させるといった、極端に単純化された暗号に使用される秘密のコードのように、グループコーディングでは、〝T〟を遷移(Transition)、〝N〟を遷移なし(No transition)として、磁束遷移のパターンを〝TTNT〟のように記録する。

簡単な翻訳と同じで、置き換えるだけでわかってしまうような秘密性のほとんどない暗号は(暗号解読の初歩的な知識を持っていれば誰にでも数分で解読できてしまう)、記憶システムにとっては有効とはいえない。このような簡単な暗号が有益となるのは、磁束遷移にとって記録が簡単な特別なパターンを使用して、それぞれのデータグループを記録できる場合であり、普通はデータグループのビット数よりも磁束遷移の数のほうが多いものだ。記憶装置の容量は、実際には磁気メディアにおける磁束遷移の間隔であるため、この技術は面積あたりのデータ密度を高くすることに成功している。磁気メディアの性質やディスクの回転速度、読み書きヘッドの設計によって、そのメディアの磁束遷移の最大および最小の間隔が決まる。磁束遷移の間隔が狭すぎた場合には、読み書きヘッドがそれらを区別できなくなり、また、間隔が広すぎると、うまく検出できなくなってしまう。

記憶装置に対して人為的に制限を加えることにより、メディア上の磁束遷移に必要な間隔の限界内で、より多くの情報を詰め込むことが可能となる。

RLL方式

GCR方式は、磁束遷移を扱うことのできる範囲内で、記憶メディアにより多くの情報を記録するために、複雑な形式のデータ加工を行うように設計されたものであるが、この方式の特殊なケースが**ランレングス制限**(**RLL**)である。RLLの中で最も一般的な2,7という形式では、1バイトのデータはそれぞれ16個の磁束遷移からなるパターンへ変換される。

このデータ加工では、一定の情報量を記録するために、2倍の数の磁束遷移によるビットが必要となるが、8ビットデータのすべてのコードを記録するのに、16ビットのコードの総数のほんの一部分しか必要ないという長所がある。8ビットのコードは256個であるのに対し、16ビットのコードは65,536涸あるわけだ。したがって、システムを設計する技術者は、1バイトのデータひとつひとつに対して、16ビットコードというきわめて大きな範囲の中から選択ができるというわけだ。設計者は頭を働かせることができれば、ディスク上に簡単に記録できる磁束遷移のパターンを見つけられるだろう。2,7 RLLシステムでは、連続する16ビットデータの磁束遷移の中で、2個から7個までのデジタル0の間にそれぞれのデジタル1が来るように、16ビットのパターンが選択される。2,7 RLLの方式を順守せずに不法に作られた16ビットのコードパターンは、磁気記憶装置内のデータストリームの中ではけっして現れない。

この符号化システムでは、データを符号化するのにビット数の2倍が必要となるが、データストリーム内のパルスは、記憶メディアの磁束遷移の限界内にうまく収まる。実際、この2,7 RLLのコードによって、磁束遷移は倍密度記録より3倍の間隔を持って発生することになるが、これは、デジタル1しか磁束遷移を発生させず、その間に少

なくともバイナリ3つ分のスペースが必ず空くからである。8ビットから16ビットへの変換が行われているため、データストリームのコードビットは2倍になるが、磁束遷移に対応するコードビットは、MFMの場合と同じ間隔を維持していながら、磁気メディア上の距離は3分の1となる。したがって、2,7 RLLを使用した場合、MFMと比べて50%も記録密度が高くなる。

より高い密度の記録を行うRLLの欠点をあげるとすれば、より高いデータのスループットを扱うために、複雑な制御や広い帯域幅が必要となり、記憶装置に高度な電気技術が必要となることである。

アドバンスドRLL

より進んだRLL方式の符号化システム（3,9 RLLまたは**アドバンスドRLL**と呼ぶ）では、ディスクの記録密度を高めるだけでなく、古い形式のディスクにも効果がある。3,9 RLLは2,7 RLLとは異なるコードを使って、連続する0の数が3から9の間になるようにビットパターンを変更する。3,9 RLLでも8ビットから16ビットへの変換が行われる点は変わりないが、デジタル1は確実に4ビット以上の間隔を置くことになる。結果として、3,9 RLLでは、データを4倍の密度の磁束遷移として記録することができる。正味の利得は、データ変換における損失を考慮すると、100%の増加ということになる。通常の倍密度記録技術と比較すると、3,9 RLLでは2倍の密度で記録できるわけだ。

この普通では考えられないようなデータ記録技術は、ほとんどのデータ記憶装置で必要とされた様々な人為的な制限を克服するところから生まれてきたものである。つい最近までは、大抵の記憶装置は倍密度記録方式で設計されており、自分自身と制御回路との間の接続については、厳密に定義されたインターフェイス規格に従っていた。ところが、ハードディスク用の新しいインターフェイス方式では、データの符号化とコンピュータホストに送られるデータストリームとは分離されている。これにより、ドライブ装置のメーカーは、どのようなデータ符号化方式でも自由に選べるようになったのであるが、その方式がどのように違うのかは使用者にはまったくわからない。したがって、最近のハードディスクドライブでは、使われているデータ符号化形式が明らかにされることはめったにない（メーカーの仕様書を目を皿のようにして見る機会があれば別だが）。最先端のディスクインターフェイスを使用している人は、この情報を見たところで自分には無関係であることがわかるだけだ。

19.3　データ圧縮

グループコーディングにおいて、入力されたデータの各ビットパターンと、それによって作られる磁束遷移との対応は、データストリームのほかのビットパターン列とは無関係である。それぞれのパターンは、磁束遷移自体のパターンと直接対応している。グループコーディングシステムでは、ビットパターンを簡単に磁束遷移と適合させることができ、データの各バイトにおいて最適な記録密度を実現できる。

しかし、多くの情報を記憶メディアに押し込む方法としては、グループコーディングが最も効果的な方法であるわけではない。データストリームにあるバイトの多くは重複している。その情報内容は、何か別の方法を用いれば、もっと少ないバイト数で表わすことができるのだ。グループコーディングは、その内容までは考慮することなく、個々のバイトからなるデータストリームを表わそうとするもので、各パターンが正確に作り直されるだけである。グループコーディングを用いても、実際の情報がデータストリームの中で、可能な限り効率的に符号化されているという保証はどこにもない。

グループコーディングのメカニズムが、ごく部分的な見方をベースにして考えられているのに対し、データ圧縮システムではもっと全体的な見方を採っている。バイトごとのビットのパターンよりもバイトのパターンを調べることにより、圧縮システムはより効率の高いパターンを探そうとするのである。データ圧縮システムが目標とするところは、重複部分を取り除き、内容以外の重荷を切り放すことである。いい換えれば、圧縮システムはデータストリームに混ざり込んでいる空気を絞り出すようなものだ。あるいは、気球から空気を抜くことにも似ている。300フィートほどしか飛べないぐらいに空気が抜けてしぼんだ気球も、ヘリウムガスを入れると元の大きさに戻り、また飛べるようになる。これと同様に、データ圧縮でも、〝太った〞ファイルを可能な限り〝痩せた〞状態にしておき、後で解凍処理を施すことで元の形に戻すことができる。

大抵の圧縮システムで使われているのが、データストリームの中で繰り返し現れるパターンを代用の短い記号で表わすという方法である。たとえば、2バイトのパターンである〝at〞を1バイトの〝@〞で表わすことができるが、この場合、記録に必要な容量は半分に減少する。ほとんどの圧縮システムはビットパターンに代用の記号を固定して割り当てるのではなく、その代わりに、転送中に随時割り当てを行っている。圧縮はデータブロック単位に行われ、ブロックごとに割り当てが行われるのである。したがって、1ブロックの記号で記憶されたビットパターンが、次のブロックで使われたビットパターンとはまったく異なるということもありうる。記号からビットパターンを解読するための鍵は、データストリームの一部分に含まれている。

圧縮率とは、圧縮前のデータを記憶するのに必要な容量と、圧縮後のデータを記憶するのに必要な容量を比較した割合である。たとえば、90%の圧縮率といった場合は、圧縮によって記憶に必要な容量は90%少ない、つまり、圧縮後のデータは元のデータが必要な容量の10%の容量で記憶できるということである。

無損失圧縮と損失圧縮

ほとんどの圧縮システムでは、記憶した全バイトと全ビットは完全に元に戻せるように考えられている。しぼんだ気球にポンプでヘリウムを注入したとすると、この場合に期待されるのは気球が膨らむことで、灰色のゴルフボールができることなど誰も考えない。圧縮システムもこれと同じで、プログラムからスプレッドシートやコマンドがなくなっていては困るのである。圧縮したデータを解凍する場合、1ビットも失うことなく、最初にあったものを完全に取り戻したいと利用者は考えるのだ。このようにすべてを復元できるプロセスのことを**無損失圧縮システム**（lossless compression systems）と呼ぶ。

しかし、解凍後のデータに必要でない部分が含まれている場合もある。たとえば、1枚の写真をtrueカラーの24ビットスキャナーで読み込み、256色しか出せないVGAシステムで再生した場合を考えてみると、スキャナーで読み込んだ精密な色情報のすべてはディスプレイ上で無駄になると同時に、それを記憶するためのディスクスペースはもっと効率よく使用することができそうだ。

アナログのイメージデータがデジタルデータに変換された場合や、逆にデジタルのものがアナログデータに変換された場合、ほとんどの人には気付かないぐらいの微妙な差異が生じている。このデータ量を減らす仕組みは**損失圧縮システム**（lossy compression system）と呼ばれているが、このシステムでは、このように細かいニュアンスについては無視している。再構成されたデータは、元のデータを完全には再現していない。多くの場合、データを一覧したり、リストを見たりするだけなら、この再構成したデータでも十分である。損失圧縮システムは無損失圧縮システムと比べて実行速度が速く、圧縮率も高いため、デジタルイメージや音声の記録など、時間やスペースが問題となるアプリケーションに使われることが多い。

圧縮の実現

圧縮は、ほかのいろいろな操作と同様に、マイクロプロセッサによって行われる単なるデータの変換である。したがって、今持っているパーソナ

ルコンピュータのマイクロプロセッサも、普通のソフトウェアプログラムを使って、すぐれたデータ圧縮装置に変えることができる。

このようなソフトウェアによる圧縮システムによって、ディスクやテープの実質容量を増やすことができる。ソフトウェア圧縮システムのいくつかは、ソフトウェアドライバの形で働く。つまり、ハードディスクへ向かうデータを途中で奪って、マイクロプロセッサによって実行される圧縮アルゴリズムによってそのデータの経路を変え、そこを通ったデータを元のデータの代わりにハードディスクへと送るのである。テープのバックアップシステムの多くは、専用の圧縮システムが組み込まれており、ハードディスクからテープ(またはフロッピーディスク)ドライブへと向かうデータを変換するようになっている。いずれの場合でも、圧縮されたデータを後で読み出すときは、圧縮されたデータストリームを捕まえて、圧縮アルゴリズムの逆の解凍アルゴリズムで全バイトを解凍し、その結果をアプリケーションソフトへと渡す。

ソフトウェアによる圧縮システムの長所は、それがソフトウェアの中に組み込まれているということにある。利用者はそのプログラムを買うだけで、ほかには何も配慮しなくても、記憶に必要な容量を2倍以上にして使うことができる。しかし、このようにソフトウェアによる圧縮には、同時に処理速度が低下するという弊害も伴う。ソフトウェアで圧縮すると、マイクロプロセッサがデータの変換を行なわなければならないため、ディスクのレスポンス速度を低下させてしまうのである。また、ソフトウェアドライバとして働くシステムは、DOSの規格に正確に合致していないハードディスクで使用すると、問題が発生することもある。さらに、このソフトウェアドライバはDOS以外では働かない可能性もあるのだ。

自立型のソフトウェア圧縮プログラムでも、ファイルを圧縮して、転送時間を節約したりディスクの容量を節約したりすることができる。このようなプログラムは、通常のディスク操作の中に隠れて、リアルタイムの処理を行う必要がないため、ファイルを広範囲にわたってチェックして最適な圧縮方法を選び出すことができる。さらに、ファイルの様々な部分に異なった圧縮方法を使用したり、いくつかの圧縮方法を重ねて使用することもできる(このようなプログラムでは、時間がかかることは問題とならないため、より複雑な圧縮方法を使用することができ、一度圧縮したファイルはさらに圧縮できないという従来のルールが当てはまらない)。

このような圧縮プログラムでは、いくつもあるファイルを1つのファイルにまとめる機能が組み込まれているのが一般的である。これらの圧縮プログラムが特にBBS(電子掲示板)のユーザーに馴染み深いものになっているのは、ファイルを小さくすることで高い電話代を節約することができるためである。最も良く知られた市販のプログラムでは、System Enhancement Associatesの「ARC」や、PKwareの「PKzip」がある。

マイクロプロセッサの代わりに圧縮用コプロセッサボードを搭載して使うこともできる。圧縮用コプロセッサは、マイクロプロセッサによる圧縮操作を代わりに請け負い、ソフトウェアによる圧縮の不利な点を取り除くことができる。ただし、圧縮用コプロセッサはディスク(またはテープ)の読み書き操作へ割って入るドライバを必要とし、このため、DOS以外のオペレーティングシステムとは互換性がない可能性がある。

現在では、多くのハードディスクが装置レベルの圧縮システムを組み込んでいる。これは、圧縮用コプロセッサを拡張ボードからハードディスク内へと移動させたもので、このようなハードディスクでは、本来の容量よりも多くの情報を記憶することが可能である。圧縮回路はドライブ自身の一部となっており、自動的にデータストリームの間に入っているため、ソフトウェアドライバがこの役割を負う必要はない。また、装置レベルの圧縮システムでは、コプロセッサチップを使用しているため、性能が落ちるという欠点もない。

注意しなければならないのは、ソフトウェア、コプロセッサ、装置レベルの圧縮では、同じ圧縮方法が用いられているのが一般的であるため、これらを複数同時に使用すると、逆効果になることである。いったん圧縮されたものをさらに圧縮することはできない。また、ARCやPKzipのような

圧縮ユーティリティで圧縮されたファイルは、もう一度別のユーティリティで圧縮できるということはない。1つの圧縮システムを用いるだけで、最適な速度や記憶装置の有効利用が可能なのである。

19.4　シーケンシャルアクセスとランダムアクセス

最初の大容量電子記憶装置は磁気テープで、これは薄い紙の上に精製した酸化鉄を薄く塗り付けたものであった。後にこの紙はプラスチックに代わり、酸化鉄のコーティングは、鉄や二酸化クロムや同種の化合物を使った様々な混合物を原料とした改良型の磁気粒子となっている。

テープ記録

このようなテープに記録を行った装置が、ドイツのTelefunken社によって作られた最初のテープレコーダ「Magnetophone」である。第二次世界大戦の時代に作られた古めかしいこの装置は、アナログ音声しか記録できなかったが、その後テープ記録は徐々に発達し、ビデオやデジタルデータまで記録できる性能も持つようになった。今日のデータカセットやストリーマテープシステムは、どちらもこの最初のテープレコーダの流れを汲むものである。

このようなテープメディアはとても単純な設計になっている。静止した読み書きヘッドを正しく通過するように、テープは単純に左から右へと走行する。そして、ヘッド内の電磁コイル上に電流が通ると、テープへデータを書き込むのに必要な磁界が作られる。

テープがこのヘッドの前を通ると、テープ上の磁気粒子によって生成された動く磁界がヘッドにきわめて小さい電流を誘導する。この電流は増幅され、デジタルデータへと変換される。書き込み用の電流は、最初にテープに存在するどのような磁界よりも強く、データの消去も、新たに情報を書き込むために新しい磁界の向きを形成することもできる。

シーケンシャルメディア

テープ記録装置の第一の特徴は、情報がテープの先頭から末尾まで一方向に格納されることにある。紙の上に文字を書くように、データビットが次々と連続的に記録されていくことから、このような情報の格納形態を**シーケンシャル（順次）**方式という。デジタルシステムでは、ビットはテープの端から端へ向かって次々と記録される。多重トラック方式や、ビデオシステムに使用されるヘリカル記録方式ではテープの横幅も使用されることがあるが、その場合でも、基本的には、格納される情報の流れは単一方向である。

ニュートンの法則が支配する世界では、2点間の最短距離は常に直線を意味する。ところが、磁気テープシステムでは、テープ上の2つのデータビットを結ぶ最短距離が長い時間を意味することがある。大きく隔てられた2つのビットを読み取る場合は、その間のテープを読み飛ばさなければなければならない。その過程では、通過する部分の不要なビットも読み取っていかざるを得ない。データが読み取りたい順に並んでいない場合には、検索するためにテープの巻き取りや巻き戻しを何度も繰り返すことになる。これは、時間の浪費以外の何物でもない。

理論上は、シーケンシャル記録方式にはさしたる欠点がないことになっている。使用するメディアによっては、きわめて高速な動作も可能である。たとえば、コンピュータの半導体メモリの一形態である〝シフトレジスタ〟は、機械部分がなく、完全に電子的に構成されているため、データをほぼ光速で連続的に移動することができる。

しかし残念ながら、現在のシーケンシャル方式のコンピュータ用大容量記憶装置では、そこまでの高速は実現できていない。テープシステムは機械

的なメカニズムに頼っているため、光よりも遥かに劣る速度でしか動作できないのである。たとえば、光が真空の宇宙空間を秒速186,000マイルもの速度で移動するのに対して、カセットテープの速度は秒速1.875インチに過ぎない。光は月まで往復するのに数秒しか要しないが、カセットテープでは100億倍（数千年）も多くの時間が必要である。

現実には月まで届く238,000マイルもの長さのテープなどあり得ないが、それにしても、シーケンシャル方式のデータアクセスはあまりにも低速である。高速に慣れた現代のパワーユーザーは瞬時の応答を期待するが、テープシステムではファイルの取り出しに10秒近くもかかることがある。プログラムとデータをすべてテープシステムから転送する羽目になった場合など、転送を待つ間の暇つぶしとして編み物の趣味でも始めるしかない。

ランダムアクセスメディア

フロッピーディスクや大部分のハードディスクでは、ディスク表面が2次元であることを生かして、テープシステムとは異なる形でデータが格納されている。データは、直線上ではなく、陸上競技場のトラックや水面に広がる波紋のような複数の同心円上に記録される。この記録方式は一部の光ドライブでも採用されている。ただし、光ドライブの多くは、この方式に変更を加えて、同心円の代わりに、ディスクの外周から内周へと続く間隔の狭い1本のらせんを使用している。らせん状のトラックでも、動作は同心円方式と変わらない。

トラック

データを2次元に配置しても仕組みはたいへん単純である。ディスクは読み書きヘッドの下を決まった方向に回転する。このときヘッドは、陸上競技場のトラックのように同心円状に形成されている**トラック**を走査して、データの読み書きを行うのである。ディスクシステムでは、通常、ヘッドも移動できるようになっている。これは、ヘッドを固定してしまうと、同じトラック上の特定の記録データしか読み取れなくなり、ディスク表面の有効な領域のほとんどを未使用のままで放置することになるからである。これでは、シーケンシャル方式の記憶システムと同じである。

今日のディスクシステムのほとんどでは、読み書きヘッドは、ディスクの半径に相当する部分を、トラックを横切る形で移動する。こうすればヘッドはトラック間を高速に移動できる。2点間（2バイト間）の最短距離は直線であり、データを連続的に読み取る場合には、ヘッドはトラックを横切って近道をすることで高速な読み書きを可能にしているのである。この場合、該当するトラック上に到達したヘッドは、必要なビットがヘッドの下を通過するまで待機しなければならないが、ディスクは相対的に回転速度が高いため（フロッピーディスクでは一般的に毎分300回転であり、ハードディスクでは3,600回転のものが多い）、この待ち時間は数分の1秒に過ぎない。

このような2次元記録システムは、ビット間の距離が大きな場合でも、ヘッドがトラックを横切って移動できるため、該当のトラックに達したヘッドが該当のビットの通過を待つ時間が必要だという欠点はあるが、データの読み取りや検索をどのような順番にでも（つまり、ランダムに）行えることになる。このようなディスク記憶装置は、一般に**ランダムアクセス装置**と呼ばれている。

磁気記憶システムは、このランダムアクセス能力によって、同じく大容量の記憶システムであるテープシステムを遥かに凌駕する高速動作を実現している。したがって、高速性と利便性においてディスクシステムよりも劣るテープシステムは、メインの記憶システムとして使用されることはない。テープシステムの一般的な役割は、補助記憶装置としてのバックアップシステムにある。一方、ディスクシステムは、短時間での転送が求められるプログラムやファイルの格納用として使用されている。

1本のらせん状のトラックを使用する光システムでも、長いらせんトラックに沿ってデータを読み書きする際には、ヘッドはトラックを横切って移動する必要がある。しかし、光システムのヘッドはトラックを横切るだけでなく、連続するトラックの中でもある部分から別の部分へジャンプすることができるため、高速なランダムアクセスが可能になっている。また、このようならせんトラッ

クシステムでは、ヘッドはトラックに沿って内周へ進む際に、同心円のトラック間に存在する読み取り不能領域を横断する必要がないため、大きなデータブロックを高速でスムーズに読み取ることができる。したがって、光システムでは優れたランダムアクセス機能と連続データの高速な転送速度の両方を実現することができるのである。

現代のハードディスクでは、トラックのディスク上の物理的な配置は意味をなさなくなっている。特殊な電子回路によってドライブの物理特性を隠して、別の物理配置に見せることができるようになったからである。このようなマスク処理を使用すると、本来は互換性のないドライブをパーソナルコンピュータで機能させることができる。たとえば、DOSや大部分のBIOSでは、ハードディスク上で1,024本を超える数のトラック（またはシリンダ）を使用することはできない。ところが、このマスク技術を使用すると、2,048本のトラックがあるドライブでも、パーソナルコンピュータに対しては、ディスクの論理形状がこの制限内に収まっているかのように見せることができるのである。

セクタ

通常、トラックは**セクタ**という小さなセグメントに分割されている。トラックごとのセクタ数は様々で、一部のフロッピーディスクでは8個であるが、最近の大容量ドライブには51個を超えるものがある。デバイスレベルのインターフェイスを使用するディスクでは、セクタ数はすべてのトラックで同じである。内周に近づくほどトラックの半径が小さくなるため、それだけ高密度で情報を格納しなければならない。一般に、IBM方式の装置では512バイトのセクタサイズが採用されている。

各セクタは、ディスクに付けた特殊な磁気マークで識別する。このセクタ識別子は、ディスクのフォーマットの一部になっている。一般的なセクタ識別子の内容を、**図19-1**に示す。

■ ゾーンビット記録方式

最近は、ディスク円板の外縁に近づくほどセクタ数を多くしたドライブが増加している。この場合、特殊な電子回路によって、このようなセクタの変則的な配置をコンピュータから隠し、全トラックが同じセクタ数になっているかのように見せている。

このようなセクタ配置は、複雑な技術が支えている。名目上、ハードディスクの回転速度は一定である。回転速度を可変にして、多くのデータを記録できるようにヘッドが外周にいくほど回転を高速にすると、アクセス時間が犠牲になってしまう。ヘッドの移動は短時間で行えても、読み書きに適した速度になるようにディスクが回転速度を調整する間、システムが待機を強いられるからである。

ゾーンビット記録方式という技術を使用すると、この問題は解消される。ゾーンビット式ドライブでは、ディスクの回転速度を変えるのではなく、ヘッドが位置する領域に応じて、回路の動作周波数を変更するのである。周波数が変化すると、データの記録密度も変化する。

周波数が固定された従来型のディスクでは、ディスク円板の外周側ほど記録密度が低くなる。一定時間にヘッドの下を通過するメディアの距離が長くなるからである。ゾーンビット記録方式では、ディスクのどの部分でも記録密度がほぼ一定になる。外周側ほど高い周波数を使用することによって、内周側よりもデータの密度を上げるのである。この結果、信頼性を犠牲にせずに、ディスク全体としての実質的な記憶容量を増やすことができる。

この種のドライブでは、パーソナルコンピュータに対して、標準的な構成（たとえば、512バイトのセクタがトラック当たり17個）であるかのように見せるために、実際の物理特性を隠す必要がある。ある瞬間のトラック当たりのセクタ数が17から23へ、23から31へと磁気的に変化するようなディスクは、DOSでは取り扱えないからである。このように実際のディスクの物理特性を隠すことによって、システムレベルのインターフェイスが容易になる。

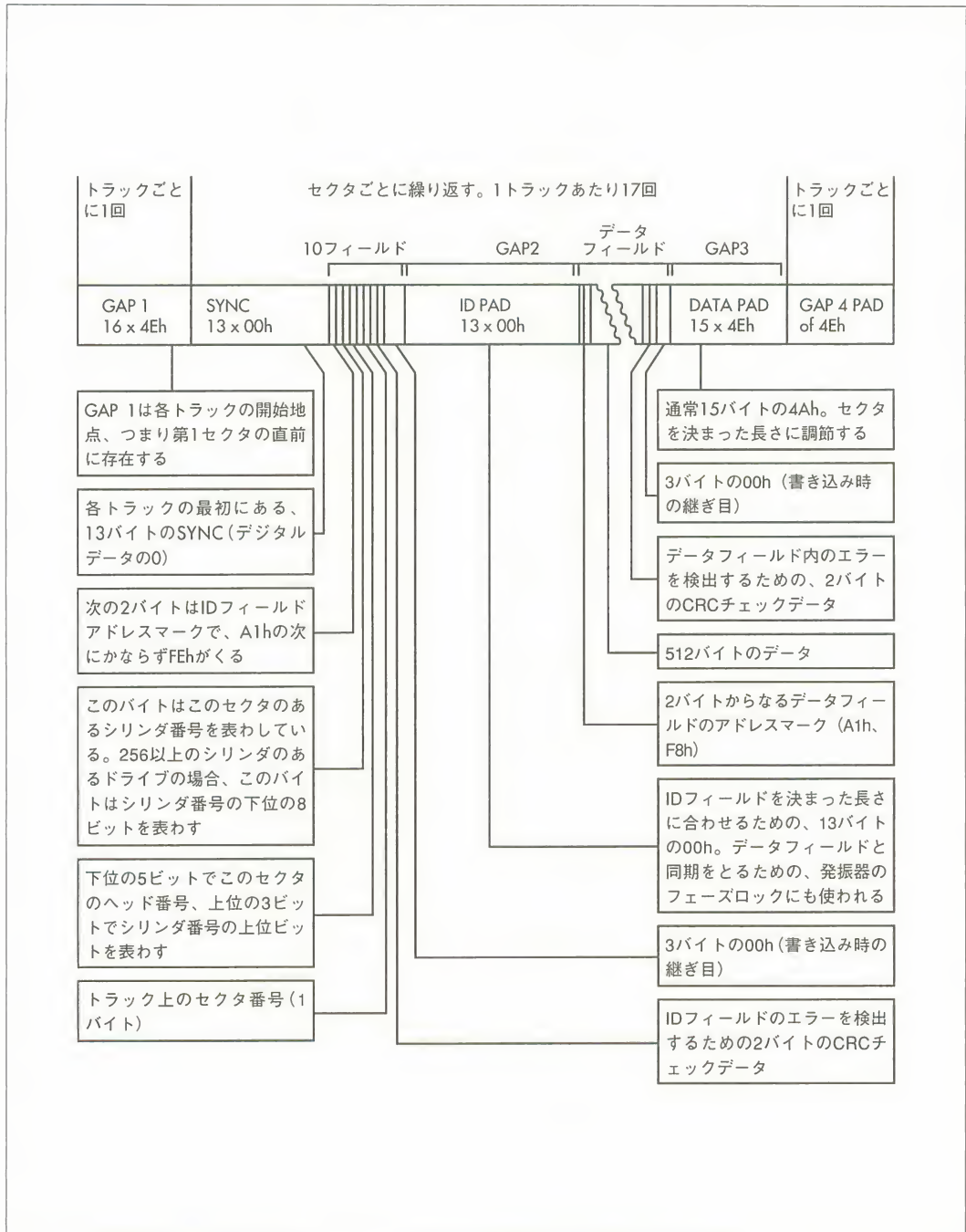



図 19-1　典型的なセクタ ID マーク（ST5061412 コントローラ）

■ トランスレーションモード

パーソナルコンピュータの設定を行う場合、ヘッド数、トラック数、セクタ数は重要である。この値によって、指定されたデータを検索するためにドライブコントローラがドライブに送信する信号が決まるからである。通常この値は、パーソナルコンピュータのセットアップ処理を実行する際に設定する。トラックとセクタの実数を隠すために使用するマスク技術では、ユーザーは、ドライブの実際の物理構成ではなく、ドライブの電子回路が作成する論理的なトラックとセクタの配置に合わせてシステムを設定する。

最新鋭のドライブはさらに進化している。物理特性をマスクするだけではなく、パーソナルコンピュータが期待するパラメータ（ヘッド数、トラック数、セクタ数）を検知して、自動的にそのパラメータに合わせることができるのである。この機能を**トランスレーションモード**という。

トランスレーションモードをサポートしているドライブでは、ユーザーは、ドライブの実際の値よりも多くの容量を指定することはできないが、パーソナルコンピュータのセットアップでどのようなドライブパラメータを設定していようとも、それを受け付けることができる。たとえば、トランスレーションモードをサポートしている80Mバイトのドライブを購入したとすると、そのドライブは、自動的に自己調整して、セットアッププログラムに記述されているヘッド数やシリンダ数をエミュレートするのである。

ただし、このトランスレーションモードにも欠点がある。ドライブをトランスレーションモードでフォーマットし、論理構成が設定されてしまうと、再フォーマットしない限り、設定を変更することができないのである。これは、ドライブは自動的に自己調整を行えても、データにはそのような能力はないからである。

万一、パーソナルコンピュータのCMOSメモリの内容が壊れるようなことがあると、大変厄介なことになる。たとえば、バッテリを交換したために、システム設定をやり直す必要が生じた場合など、記録されていたデータを復元するためには、以前に設定していたドライブのパラメータを事前にユーザーが覚えておかなければならない。また、データが入ったドライブを別のシステムに移動する場合は、必ず、以前のシステムと同じセットアップパラメータを使用する必要がある。

残念ながら、トランスレーションモードのドライブは、容量を通知する以外には、使用すべきパラメータに関してユーザーの助けになるような情報は何も提供してくれない。必要なときは後で参照できるように、フォーマット時に設定したパラメータ（つまりドライブのタイプ）は、ハードディスクにラベルとして貼っておく必要がある。

クラスタ

DOSではトラックやセクタは取り扱わない。代わりに、ディスク記憶装置を、**クラスタ**（**アロケーションユニット**ということもある）と呼ばれるセクタの小グループに配分する。クラスタは、ディスクのタイプ、フォーマット方式、DOSのバージョンに応じて、512バイトから8,096バイトまでの様々な標準サイズを持った、選択可能な単位である。

ディスク上にファイルを格納する場合、DOSはそのファイルを一群のクラスタに分割する（数百クラスタ程度の場合が多い）。クラスタはディスク上の様々な場所から集められる。したがって、ファイル内では連続する部分であっても、ディスク上では物理的に隣接するクラスタに格納されるとは限らない。

現在では時代遅れになったDOSの初期バージョンは、ファイルごとにクラスタを割り当てるという単純な規則に従っていた。この規則の下では、たとえば新品のディスクであれば、ディスクの先頭に近いクラスタから順に使用され、1つのファイルに使用されたクラスタはすべて連続しているわけである。

ファイルを消去すると、使用されていたクラスタは解放されて、再使用できるようになる。次のファイルが書き込まれるときには、新たに解放されたクラスタが、ディスクの先頭に近いものから順に使用される。このように、DOSでは、まったく未使用のクラスタよりも先に、ファイルの消去によって空いたクラスタが使用される。そのため、ファイルが格納されたクラスタがディスク内の複

数の場所に散在する場合が出てくる。

DOSの初期バージョンがこのような奇妙な方針を採用していたのは、速度よりも容量の方が重要であった時代に作成されたためである。可能な限り多くのファイルをディスク上に押し込むことを目的としていたのである。

DOSもバージョン3.0以降になると、ディスクの先頭に近いクラスタから無条件に使用するということはなくなった。これらのDOSでは、ファイルの消去によって生じたクラスタよりも、まったく未使用のクラスタを優先的に使用する。このテクニックによって、ファイルが格納されたクラスタ間の距離が近くなるため、結果的に、ファイルの読み取り速度が向上することになった。

ファイルアロケーションテーブル

各クラスタがどのファイルに所属するかを管理するために、DOSでは**ファイルアロケーションテーブル(FAT)**というものを使用している。FATは、基本的には、ディスク上のクラスタのマップである。ファイルの読み取りを行う場合、DOSは自動的にFATを調べて、そのファイルに属する全クラスタを特定する。ディスクへの書き込みを行う場合は、FATを調べて、利用可能なクラスタを判別する。個々のクラスタがディスク上にどのように散在していようとも、ユーザーやソフトウェアには1つのファイルにしか見えない。

クラスタはディスクにおける最小の記憶単位であるため、クラスタのサイズを小さくすることは重要である。作成したバッチファイルがどんなに小さくても、クラスタを少なくとも1つは占有するからである。可能性としては、10バイトしかないバッチファイルも8,192バイトのクラスタを占有することもあり得る。平均すると、複数のクラスタを占有するファイルによって、ディスク空間のクラスタ領域の半分は無駄になっている。その上、ファイルが入っていないディレクトリも含めて、全ディレクトリが最低1つのクラスタを使用するのである。したがって、クラスタのサイズが小さいほど、未使用のままで無駄になるディスク空間が減少するわけだ。バージョン3.3までのDOSでは、FATに12ビットのクラスタ番号を使用していた。この場合、合計4,096個のクラスタに個々の名前を割り当てることができる。サイズが8,192バイトのクラスタの場合、ディスク(またはパーティション)の最大可能サイズは33,554,432バイトとなるが、これが旧DOSの悪評高い32Mバイト制限である。バージョン4.0以降のDOSになると、FATは16ビットになった。この場合は、合計65,536のクラスタに個々の名前を割り当てることができる。ディスク空間を節約するためにクラスタのサイズを2,048バイトに抑えると、ディスクの最大サイズは134,217,728バイト(128Mバイト)になる。クラスタのサイズを4,096〜8,192バイトにすると、最大512Mバイトのディスクやパーティションを確保することができる。DOS 5.0では、ディスクを複数のパーティション(クラスタサイズとFATのエントリサイズの両者に起因する制限の範囲内に収まるようにする)に分割することによって、さらに大きなディスク空間を扱うことができる。

19.5 制御回路

大容量記憶システムは、通常、3つの部分(一体化されている場合もある)で構成されている。実際のドライブ(つまり、内部回路も含む駆動機構)は、テープの巻き取りやディスクの回転など、記憶媒体自体の運用を担当する。制御回路は、ホストコンピュータシステムが発行したコマンドに応じて、駆動機構を制御する信号を生成する。そして、ホストアダプタは、ホストコンピュータが特定の目的のために生成した信号(ISAバス、EISAバス、マイクロチャネル、ローカルバス内を通る

信号）を、コントローラと互換性のある信号に変換する。

初期のコントローラ

IBM XTが登場するまでは、大容量記憶装置の大部分のコントローラは、ハードディスクドライブの筐体内に装着された単独のボード上に形成されていた。ホストコンピュータの信号は、独立したホストアダプタカードによって、コントローラに合う規格の信号に変換されていた。ホストアダプタとコントローラは、一種の拡張パラレルポートによって接続されていた。また、制御機能は3つの場所に分散されていた。コンピュータ内部のホストアダプタ上と、コントローラ自体の内部（コントローラは大容量記憶装置の筐体内に併置されているのが一般的であった）、そして、大容量記憶装置の一部であるデータ転送回路内である。

ハードディスクシステムやテープバックアップシステムなどの初期のパーソナルコンピュータ用の増設機器の多くは、このようにコントローラ、アダプタ、ディスクが分離されたシステムを採用していた。製造メーカーにとって、これには正当な理由があった。この設計では、ホストアダプタを交換するだけで、同一の大容量記憶装置を事実上どのようなコンピュータシステムにでも組み込むことができる。コントローラをあらゆるコンピュータシステムに適合するように設計することで、すぐ入手できるようにし、潜在的な市場を広げたのである。結局、IBM PCが登場するまでは、真の意味での汎用バスの標準規格は存在しなかった。（数百万台のIBM互換機が販売されている今日の状況とは異なり）設計が異なる多種多様な非互換コンピュータが大量に販売されたこの時代には、このようなテクニックによって、大容量記憶装置の製造メーカーが経済的に存立可能なほど大きな市場が成立していたのである。

また、ホストアダプタとコントローラを分離することについても、合理的な理由があった。この両者を一体化すると、従来型のスロットに差し込めるような大きさの拡張ボードではスペースが足りそうにないと思われたのである。

ホストアダプタとコントローラの結合

PCバスもマイクロチャネルも業界の共通規格としての資質は備えていないが、広範なユーザーの存在が、この両者専用に製品を設計するメーカーに正当性を与えている。IBM PCという最初のIBMパーソナルコンピュータの成功によってこの方針の正しさが明らかになってくると、ホストアダプタと記憶システムの制御回路を1枚の拡張ボードで統合するメーカーが現れ始めた。現在では、大容量記憶システムの大部分が、記憶装置とパーソナルコンピュータの拡張バス（準拠している規格が何であれ）をこの方法で接続している。ホストアダプタとコントローラが一体化されたこのようなボードも、その基本機能から**コントローラ**と呼ばれている。

IBM XTのハードディスクサブシステムは、ホストアダプタとコントローラの関係が変化する先触れとなった。XTのコントローラは、ホストアダプタとコントローラの機能を1枚の高密度な回路ボードで一体化したものだったのである。この先駆的なコントローラは、もともとはXebec CorporationがIBMのために製造したものであり、次世代の装置の雛形となった。実際、その後のハードディスクコントローラの大部分がこの一体化方式を採用している。ATもこの方式を採用し、Western Degital Corporationが開発したコントローラ（特に「WD1002」というモデルのもの）を使用していた。ソフトウェアがこの特定のコントローラの機能を前提として設計されていたため、このコントローラはその後の設計の流れを決定づけることになった。現在では、パーソナルコンピュータ用のほぼすべてのハードディスクコントローラが、WD1002の機能をエミュレートしている。

組み込み型コントローラ

コントローラの設計における次の必然的なステップとしては、この回路を拡張スロットの外に出して、ドライブに内蔵することが考えられる。この移行を、記憶装置へのコントローラの**統合**もしくは**組み込み**という。これを技術的にいうと、**統合化ドライブ回路**（Integrated Drive Electronics）ということになる。ただし、IDEという略称の方

は、もっぱらAT拡張バスを使用して接続する特定のディスクインターフェイスの呼称として使用されている。実際には、**IDEインターフェイス**というのは通称であり、このインターフェイスの正式名称は「**ATアタッチメントインターフェイス**」である（**ATAインターフェイス**または単に**ATインターフェイス**と呼ぶ場合もある）。

SCSIと略記される小型コンピュータシステムインターフェイス（Small Computer System Interface）は、内蔵ディスクコントローラの決定版である。詳細については本章で後述するが、完全な調停機能を持った拡張バスとして機能し、装置に依存せずに高速でのデータ交換が可能になっている。

統合ハードディスクカード

拡張ボード上の回路をハードディスクに組み込むという考え方を応用すると、ハードディスクの方を拡張ボードに組み込むというアイデアが生まれる。この方法でもドライブ回路の統合化は可能であり、実際に真の意味で内蔵といえるインターフェイスが使用されたのは、ハードディスクカードが最初であった。ハードディスクカードでは、これまで述べた3つの基本部分（ホストアダプタ、コントローラ、記憶装置）が、合体して1枚のボードのような部品になっており、そのまま標準の拡張スロットに装着することができる。もちろん、この方法が有効なのは、ハードディスクのようなメディアを取り替える必要のない大容量記憶装置だけである。小型化と標準化の技術のおかげで、制御回路を組み込んだドライブに、ユーザーの好みに応じて、インターフェイスを選択する余地ができた。

19.6 デバイスレベルのインターフェイス

コントローラの役目は、ディスクドライブやテープドライブをホストコンピュータとリンクすることがすべてである。コントローラに広範な種類の装置を接続できるように、インターフェイス信号は標準化されている。

インターフェイスには2種類のレベルが存在する。1つはデバイスレベルのインターフェイスで、このインターフェイスは特定の種類の装置をホストコンピュータにリンクするように設計されている。設計上、その特定の種類の装置が生成する信号に特化されているため、他機種で使用することはできない。一方、システムレベルのインターフェイスの方は、それよりも高次元の接続を行う。装置が生成した信号は、最終的に、ホストコンピュータシステムが使用する信号に変換される。システムレベルのインターフェイスが使用する信号は、特定の種類の装置に特化されてはいない。そのため、テープドライブ、ハードディスク、フロッピーディスクはもちろんのこと、スキャナーやプリンタでさえ、同一のシステムレベルのインターフェイスを使用することができる。本来なら、各装置に専用のデバイスレベルのインターフェイスが必要になるところである。パーソナルコンピュータ用の大容量記憶システムでは、通常、デバイスレベルのインターフェイスが3種類使用されている。1つはフロッピーディスクインターフェイスであり、残りの2つは、「ST506」と「ESDI（Enhanced Small Device Interface）」というハードディスクインターフェイスである。

フロッピーディスクインターフェイス

フロッピーディスクが準拠している標準規格は、**フロッピーディスクインターフェイス**という単純な名前で呼ばれており、低価格のテープバックアップシステムでも広く採用されている。動作上は、このインターフェイスは、コマンド行をいくつか追加して、フロッピーディスクドライブ固有の特殊な機能を処理できるようにしたシリアルポート

のようなものである。2台のフロッピーディスクドライブの制御に必要な信号はわずかであり、通常、コントローラとは1本のケーブルで接続する。

2台のドライブ(AとB)の区別は、2つのドライブ選択信号を使用して行う(4ドライブのシステムでは、2本目のケーブルのAドライブ制御信号でCドライブを、Bドライブ制御信号でDドライブを制御する)。割り当てられた選択信号が送信されてこない場合、そのドライブでは、ドライブモーターの制御回路を除いて、ほかの入出力回路はすべて停止される。この方法では、2台のドライブがコントローラケーブル内の多数の信号線を、干渉することなく共用することができる。ただし、この制御方式では、ある時点でアクティブになっているのは2台のドライブのいずれか一方だけである。1台からの読み取り中にもう1台への書き込みを行うことは不可能である。このため、片方のディスク(ファイル)に保持されているデータをもう一方のドライブへコピーする場合は、一度、データをメモリに転送しなければならない。

スピンドルモーターのオン／オフ切り換えは、ドライブごとに信号線を1本使用して行う。この信号を**ドライブA選択信号**と**ドライブB選択信号**という。AとBの両方のドライブのモーターを同時に回転させることは可能だが、IBMでは規則を定めて、この2本の信号を同時にアクティブにすること(つまり、両ドライブのモーターを同時に回転させること)は禁止している(これは、電力量の限られたシステムでは電力節約となって有効であるが、ドライブが1台しかないXTシステムでは無意味である)。なお、パーソナルコンピュータのドライブでは、通常、モーター使用可能信号が停止された後も数秒間はモーターの回転が継続するように遅延回路が組み込まれているため、2台のドライブモーターが両方とも回転している状態があり得る。

フロッピーディスクインターフェイスでは、2本の信号によって、各ドライブのヘッドの位置を制御している。1本はステップパルス信号といい、ドライブ選択信号をアクティブにした上で、この信号によってステッパモーターに指示を出すことによって、ディスクの中央を基準として1ステップずつ(つまり、正確に1トラック分ずつ)、内周もしくは外周方向へヘッドを移動させる。移動方向は、もう1本の信号である方向信号で制御する。方向信号がアクティブであれば、ヘッドはディスクの中心に向かって移動する。

フロッピーが両面タイプのディスクである場合に、どちらの面を読み取るかを決定する信号を**サイドセレクト信号**という。この信号がアクティブであれば、ディスクドライブの上側のヘッドが使用される。信号が送信されてこなかった場合は、自動的にデフォルトのヘッド(下部ヘッド)が使用される。

ディスクへの書き込みは、インターフェイス上の2本の信号を使用して行う。1本は書き込みデータ信号であり、この信号は実際にディスク上に磁気的に書き込まれるデータである。この信号は、ディスク上に形成される磁束遷移に対応した一連のパルスだけで構成されている。読み書きヘッドは、この信号を単に磁気的に再現しているだけである。**書き込み許可信号**と呼ぶもう1本の信号は、ディスク上の既存のデータが誤って上書きされるのを防ぐために使用する。この信号がアクティブになっていない場合、書き込み電流は読み書きヘッドには流されない。

フロッピーディスクドライブからは、インターフェイスを通じて4本の信号がコントローラに戻される。このうちの2本は、コントローラがヘッドの現在位置を把握するための信号である。トラック0信号は、ヘッドが一番外側のトラック上に位置していることを示す。コントローラは、この信号によって、ヘッドの移動ステップ数のカウントを開始する基準位置を把握することができる。インデックス信号は、トラック上の各ビットの位置を判断するための信号である。ディスクが1回転するたびに、インデックスラインにパルスが生成される。コントローラは、このインデックス信号を基準として、着信するデータパルス間の距離を計測する。

残りの2本の信号のうち、書き込み禁止信号は、ディスクの書き込み禁止タブの有無を検出するセンサーによって生成される。タブが存在する場合、この信号はアクティブになる。残りの1本の読み

取りデータ信号は、フロッピーディスク上の磁束遷移と正確に一致する連続した信号である。

■ コントローラ

フロッピーディスクコントローラの基本的な目的は、BIOSからの要求を変換すること（つまり、トラック数やセクタ数の形で受け取ったハードウェアコマンドを、ディスク上の該当位置にヘッドを移動させるためのパルスに変換すること）にある。効率的な操作を行うためには、コントローラは、ヘッドの現在位置を把握し、必要に応じてヘッドに指示し、エラーの発生時にはそれを報告しなければならない。

フロッピーディスクコントローラは、この変換機能によって、ドライブから届いた未フォーマット状態のパルス信号を理解しなければならない。そのために、まず、インデックスパルスによって各トラックの開始位置を把握する。次に、データストリームに埋め込まれている情報から、各セクタを割り出す。必要なセクタを特定したら、セクタ内の情報を読み取って、シリアル形式からパラレル形式に変換する。これで、PCバスでの送信が可能になる。書き込みを行う場合は、コントローラはまず、書き込みの対象となるセクタを特定する必要がある（これは読み取り操作である）。次に、書き込み電流をオンにして、次のセクタが始まるまでに、そのセクタにデータを記録する。

このようなコントローラの機能は、大部分が、「765コントローラチップ」というたった1個の集積回路によって制御されている。765チップはマイクロプロセッサのような役割を果たすチップであり、パーソナルコンピュータのI／Oポートにつながったレジスタを通じて受け取ったコマンドに応じて、一定の操作を実行する。プログラミングが可能であることから、765チップを使用するフロッピーディスクコントローラはきわめて柔軟性が高く、パーソナルコンピュータ業界の進化に伴うメディアや記憶フォーマットの変更にも、容易に対応することができる。フロッピーディスクドライブに関する基本的なパラメータは、コントローラ上のシリコンチップには一切記録されていない。ヘッド数、トラック数、セクタ数はすべて、765チップ上のレジスタにロードすることによって設定される。

コントローラが使用するこれらの値は、通常、コンピュータの起動時にコントローラ内にロードされる。その後は、ユーザーが意識する必要はなくなる。適切な回路とBIOSコードを備えていれば、1台のコントローラで、旧式の大きな8インチフロッピーから最新型の3.5インチ超高密度フロッピー（2.88MB）まで、すべてを制御することができる。ただし、フロッピーディスクのフォーマットの変化を予測できなかった一部の旧式コントローラについては、あらゆるフォーマットと互換性があるとは限らない。また、最近の構成のフロッピーを活用するためには、それを前提にして設計されたバージョンのDOS（または、ほかのオペレーティングシステム）が必要になる（第20章を参照のこと）。

特殊なソフトウェアを利用すると、IBMの標準規格に従っていないフロッピーディスクでも読み取り、書き込み、初期化を行うことができるように、コントローラの設定を変更することができる。現在、このようなソフトウェアには2種類ある。1つはコピー防止機構であり、順不同にセクタ番号を付けたり余分なセクタを追加するなど、通常のIBMパラメータを使用したのでは実行できない操作を行うことによって、必要なドライブパラメータを変更するものである。もう1つはディスク互換用ソフトウェアで、これは、コントローラのプログラミングを変更して、フロッピーディスクドライブをほかのコンピュータ用のドライブ（たとえば、CP／Mオペレーティングシステムを使用するものなど）のように動作させるものである。ただし、IBMのシステムは柔軟ではあるが、取り扱えないものもある。たとえば、CommodoreやAppleのディスクとは互換性がない。これらのメーカーのコンピュータはまったく異なるドライブ制御ハードウェアを使用しているため、765チップでは対応不可能なのである。

過去10年間にわたる開発努力の結果、専用ボードが必要だったフロッピーディスクコントローラは、システムボード上のわずかな回路を占めるだけになった。IBMが初代のPC用に設計したコント

ローラは、XTやPortable PCにも採用された。ATでは、フロッピーディスク関連の回路は、システムのハードディスクコントローラ上にハードディスク制御回路と並べて収められたため、拡張スロットが1つ空くことになった。PS/2シリーズの時代になると、フロッピーディスクコントローラは、システムボード上に搭載されるようになった。

現代のPC互換機では、上記の3種類の設計のいずれを使用しても正常に機能する。したがって、選択のポイントは、拡張スロットの使用の有無とコストに絞られてくる。互換機メーカーの中には、コントローラをシステムボード上に組み込むのではなく、拡張スロットに挿入する方式を選択することによって、価格を抑えるところもある。この方法は拡張スロットの無駄遣いともいえるが、低価格を追求するメーカーにとって、その程度のことは考慮に値しないようである。パーソナルコンピュータユーザーにとって、フロッピーディスクコントローラの最大の問題はアップグレードにある。フロッピーディスクコントローラが組み込まれたハードディスクコントローラを取り外して、新しいハードディスクコントローラを装着した場合、それまで使用していたフロッピーディスクコントローラに相当する機能を、何らかの手段で調達しなければならない。

■ コネクタ

フロッピーディスクインターフェイスは、年月の経過とともに微妙に変化してきた。最初のPCやXTのフロッピーディスクコントローラでは、フロッピーディスクケーブルの接続にエッジコネクタを採用していた。これに対して、AT以降のコントローラではピンコネクタを使用するのが一般的である。いずれの場合も、各ピンに割り当てられた信号はまったく同一である。フロッピーディスク側のコネクタも変化した。5.25インチのドライブではほぼすべての製品がエッジコネクタを使用しているのに対して、3.5インチドライブでは通常はピンコネクタが使用されている。

PCやATのコントローラでは、カード上に装備されたエッジコネクタとは別に、カードオプションの装着ブラケット上に37ピンのコネクタが用意されている。3台目、4台目のフロッピーディスクを駆動するのに必要な信号はすべてこのコネクタで送受信される。最近のフロッピーディスクコントローラには2台のドライブしか制御できないものが多いが、わずかながら4台の制御が可能なコントローラもサードパーティから販売されている。

ST506/412

IBMのXTやATに加えて、PS/2シリーズの一部の機種で使用されていた初期のハードディスクコントローラは、**ST506/412**という業界標準のデバイスレベルインターフェイスに準拠していた。頭文字を使って略語にしているほかのインターフェイス名とは異なり、ST506という名称にはほとんど意味がない。〝ST〟はこのインターフェイスを開発したShugart Technologyという会社の社名の略であり、数字はほかとの区別のために付けた番号に過ぎない。要するに、車やカメラの型番と同じようなものである。

ST506では、ディスクドライブとの間のデータのやり取りを、フロッピーディスクインターフェイスと同様にシリアル形式で行う。ディスクから磁束遷移として読み取られたデータは、1本のデータラインを通じて、そのままの形でコントローラまで運ばれる。コントローラに到着したデータは、データセパレータによって、実際のデータ部分と、フォーマット情報（つまりセクタ識別情報）の部分とが分離される。

その後、実際のデータ部分のビットストリームはシリアル―パラレル変換回路に入り、シリアル形式からホストコンピュータのバスと互換性があるパラレル形式のデータに変換される。なお、変換時にはエラーチェックも行われ、大部分のエラーはこの時点で訂正される。

ST506規格では、ディスク上に記録された信号やインターフェイスを通過する信号のデータコーディング方式が規定されていない。定められているのは、ドライブとコントローラ間のシリアルチャネルだけである。したがって、ST506には、MFM、RLL、アドバンスドRLLといったコーディング方式を組み込むことができる。ただしその場合は、ドライブに、先進的な変調方式の高周波数を処理

できる機能がなければならない。変調方式やデータコーディング方式はディスクコントローラに応じて決まっているため、コントローラを選択すれば、ディスクへの記録形式も決まることになる。フロッピーディスクインターフェイスとは異なり、ST506 インターフェイスでは 2 組みのケーブルを使用する。34 ピンの太い制御ケーブルと、20 ピンの細いデータケーブルである。これらのケーブルの各ピンに割り当てられた機能を表 19-1 に示す。

表 19-1　ST506／412 ケーブルのピン配列

ピン	機能	ピン	機能
制御ケーブル			
1	ヘッド選択 8	2	Ground
3	ヘッド選択 4	4	Ground
5	ゲート書き込み	6	Ground
7	シーク完了	8	Ground
9	トラック 0	10	Ground
11	書き込み失敗	12	Ground
13	ヘッド選択 1	14	Ground
15	予約	16	Ground
17	ヘッド選択 2	18	Ground
19	インデックス	20	Ground
21	レディ	22	Ground
23	ステップ	24	Ground
25	ドライブ選択 1	26	Ground
27	ドライブ選択 2	28	Ground
29	ドライブ選択 3	30	Ground
31	ドライブ選択 4	32	Ground
33	ディレクション	34	Ground
データケーブル			
1	ドライブ選択	2	Ground
3	予約	4	Ground
5	予約	6	Ground
7	予約	8	Ground
9	予約	10	予約
11	Ground	12	Ground
13	書き込み MFM データ＋	14	書き込み MFM データー
15	Ground	16	Ground
17	読み取り MFM データ＋	18	読み取り MFM データー
19	Ground	20	Ground

最近のパーソナルコンピュータでは、ST506インターフェイスは基本的に時代遅れになっている。ハードディスクメーカーはST506インターフェイスを使用する新型ドライブの設計をかなり前に止めており、ST506インターフェイスを採用したドライブ製品は現在では市場で目にすることはない。このインターフェイスの最大の欠点は速度にある。ST506が設計された当時、パーソナルコンピュータの処理速度は現在の50分の1以下であった。その頃にはいかなるパーソナルコンピュータでも追いつけなかったST506インターフェイスの速度も、現在では、パーソナルコンピュータの速度に遠く及ばなくなってしまった。

また、ST506インターフェイスは、アップグレードには適さない。デバイスレベルのインターフェイスであるため、信号のタイミングをドライブの物理特性に直接合わせているためである。つまり、ディスクの回転によって決まる転送速度と、インターフェイスの動作周波数とが、常に連動しているのである。当然、一方の値だけを変更することはできない。高速なドライブを開発するためには、このインターフェイスを捨てて、速度の速い別のインターフェイスを新規に開発せざるを得なかったのである。

ESDI

ST506インターフェイスの高速版が開発されていれば、ESDIと同様の設計になっていたと思われる。ESDIの方が高速である点を除けば、制御信号もデータ信号もST506と同一なのである。事実、初期のESDI製品の多くは、トランスポートとコントローラ間のデータ転送速度をST506の5MHzから10MHzに上げたものに過ぎなかった。

ESDIとST506は同じ2組みのケーブルを使用しており、ピン配列も同一である。ただし、両者に互換性はない。ESDIドライブをST506インターフェイスに接続することはできないし、接続しても正常に動作しないはずである。逆に、ST506ドライブをESDIインターフェイスで動作させることもできない。**表19-2**はESDIインターフェイスのピン配列である。

しかし、ESDIはそれほど単純なインターフェイスではない。このインターフェイス仕様では、ドライブやシステムの設計上のニーズに合わせて、低速から高速まで様々な速度でデータを転送できる（最近の高速ドライブには、25 MHzで信号を送信するものがある）。また、ピンの数や配置に関する許容度も大きい。なお、ESDIは、設計上、テープシステム用のインターフェイスとしても使用できるようになっていたが、この用途では普及しなかった。

ESDIによってなされた改良の中でも、高速化の実現が最も重要な意味を持っている。ST506ドライブと同じ回転速度（毎分3,600回転）のままでデータを高速転送するために、通常のESDIハードディスクでは、1回転の間に読み取る各トラックのデータ量を2倍にする必要がある。そのため、大部分のESDIドライブでは、1トラックを34以上のセクタに区切って、転送速度だけでなく、データ密度も2倍にしている。

ST506規格と同様に、ESDIもデバイスレベルのインターフェイスである。接続は、基本的に、システムに接続された装置との間で直接確立される。ハードディスクの場合でいえば、構成や不良トラックに関する情報をドライブ自身に保存しておける点で、ST506よりも優れている。このため、インターフェイスを通じて接続されているディスクドライブの種類を、XT方式のBIOS拡張メモリやCMOS設定メモリのいずれかによってホストコンピュータが認識する必要がなく、トラック数、シリンダ数などは、ESDIドライブからコントローラに通知される。また、ドライブ上の不良トラックの検査や入力をユーザーが行う必要もない。ESDIでは、メーカーが出荷前に検査を行い、不良トラックにフラグを立てて、その情報を、コントローラが直接利用できる標準化された形式でディスクに記録してあるからである。ただし、現時点では、この情報を利用するパーソナルコンピュータはほとんどない。ST506ドライブを使用するにあたっては、ユーザーが自らの手で、必要なドライブパラメータをCMOSメモリ内に設定しなければならない。

表 19-2　ESDI ケーブルのピン配列

ピン	機能	ピン	機能
制御ケーブル			
1	ヘッド選択 3	2	Ground
3	ヘッド選択 2	4	Ground
5	書き込みゲート	6	Ground
7	設定／ステータスデータ	8	Ground
9	転送アクノリッジ	10	Ground
11	アテンション	12	Ground
13	ヘッド選択 0	14	Ground
15	セクタ／アドレスマーク検出	16	Ground
17	ヘッド選択 1	18	Ground
19	インデックス	20	Ground
21	レディ	22	Ground
23	転送リクエスト	24	Ground
25	ドライブ選択 1	26	Ground
27	ドライブ選択 2	28	Ground
29	ドライブ選択 3	30	Ground
31	読み出しゲート	32	Ground
33	コマンドデータ	34	Ground
データケーブル			
1	ドライブ選択	2	セクタ／アドレスマーク検出
3	シーク完了	4	アドレスマーク許可
5	ステップモード用に予約	6	Ground
7	書き込みクロック＋	8	書き込みクロック−
9	カートリッジ変更	10	読み出しリファレンスクロック＋
11	読み出しリファレンスクロック−	12	Ground
13	書き込み NRZ データ＋	14	書き込み NRZ データ−
15	Grouund	16	Ground
17	読み出し NRZ データ＋	18	読み出し NRZ データ−
19	Ground	20	インデックス

ESDI の最大の利点は、ST506 との類似点を多く残したままで高速化されていることにある。ESDI ドライブを ST506 ドライブとほとんど同様の方法で装着すれば、高速システムが手に入るのである。しかし、喜びは長くは続かない。ESDI のようなドライブとコントローラを分離した設計は、高速化の点で行き詰まりにきており、現代のパーソナルコンピュータやディスクドライブにはとても使用できない。シリアルデータチャネルが速度向上の限界に達しているのである。そのため、ディスクインターフェイスの主役の座はパラレルインターフェイスに移りつつある。1991 年末までには、ハードディスクメーカーの大部分は、ESDI を使用する新型ドライブの開発をあきらめ、システムレベルのインターフェイスに開発の的を絞ることとなった。

19.7 システムレベルのインターフェイス

デバイスレベルのインターフェイスとは対照的に、システムレベルのインターフェイスでは、大容量記憶装置の開発に設計者の工夫を生かせる余地が大きい。記憶装置の内部動作をインターフェイスとは切り離して、装置内部からの出力を、ホストコンピュータと互換性があるフォーマット済みデータだけに限定することができる。デバイスレベルの従来の設計では、ディスクなどの装置から取り出したデータストリームを、そのままの形でインターフェイスに送り込んでいた。そのため、セクタ識別情報などのフォーマット情報がデータの中に混在していた。これに対して、システムレベルのインターフェイスでは有効なデータしか転送されない。装置に関する情報は、必須データだけにまとめてから送信される。デバイスレベルのインターフェイスでは、脚注やページ番号などの無関係な情報も送信せざるを得ないが、システムレベルのインターフェイスではそのような不要データが取り除かれるため、デバイスレベルのインターフェイスと同じクロック速度でも、大量のデータを転送することができる。

さらに、最近のシステムレベルのインターフェイスには、一般的なデバイスレベルのインターフェイスにつきもののシリアルチャネルの制限がない。たとえば、ATAインターフェイスでは、8ビットまたは16ビットのデータを一度に転送できる。最新のSCSI接続では32ビット単位での転送も可能である。システムレベルのインターフェイスは、クロック速度ではデバイスレベルでの最速のインターフェイスに劣るが、スループットでは優っている。また、システムレベルのインターフェイスは、その低速なクロック速度ゆえに、放熱などの設計上の問題点が少なくてすむ。

システムレベルの設計では、インターフェイス信号と実際の装置が切り離されているため、互換性を犠牲にせずに新技術を導入できるという利点もある。従来を上回る大容量や優れたセキュリティ機能、現在以上の高速スループットを実現するための新技術を、標準規格に沿った形で搭載することができる。どのようなシステムレベルのインターフェイスにも、各装置用のコントローラの基本回路は必ず組み込まれているため、システムを動作させる場合、ATインターフェイス用のハードディスクとコントローラのマッチングに気を遣う必要はない。また、自分のドライブでRLLデータコーディング方式を処理可能かどうか、どのようなESDI転送速度を使用すればよいのか、といったことに悩む必要もない。これらは、設計段階でメーカーが解決済みの問題である。このような多数の利点のため、システムレベルのインターフェイスは、今日のパーソナルコンピュータ用周辺機器に広く採用されている。

ATアタッチメント(IDE)

パーソナルコンピュータ用のハードディスクインターフェイスとしては、現在はATアタッチメント設計が主流になっている。これは、ATアタッチメントがコンピュータ用のバスとして最も普及しているISA拡張バスに基づいていることを考えれば、当然の帰結である。このシステムレベルのインターフェイスは、速度において、既存のどのようなデバイスレベルのインターフェイスをも凌駕している。これを上回る速度を持つインターフェイスは、最新設計のSCSIインターフェイスしかない。

ATインターフェイスは、本来は低価格の小容量ドライブでの使用を前提として設計されたが、ここ数年の間に爆発的な普及を遂げた。これには3つの無理からぬ理由がある。ドライブメーカー、コンピュータメーカー、ユーザーのそれぞれにとって、明らかな利点があったのである。

第1の理由は最も重要である。コンピュータを購入する側であるユーザーにとって、ATインターフェイスのドライブは非常に便利なのである。接続が簡単で、信号ケーブルと電源ケーブルの2本のケーブルをつなぐだけですむ。従来型のハード

ディスクを接続する場合に問題となっていた点は、大部分が解消された。終端の適切な処置にも、デイジーチェーンのどこにドライブを接続するかにも、悩む必要はない。

AT インターフェイス方式では、各ドライブに割り当てられるドライブ番号は、ケーブルではなく、ドライブによって決まる。その上、RLL データコーディング方式や変調方式などを考慮する必要がない。最新の AT アタッチメント方式のドライブでは、様々なセットアップパラメータが用意されており、システムのセットアップは非常に簡単である。

AT インターフェイスによる接続方式の中には、パーソナルコンピュータ用のハードディスクインターフェイス方式としては最高速のデータ転送速度を持つものがある。以前は最高速の座を占めていた ESDI 方式と比べると、2〜3 倍は高速である。また、従来型のハードディスクインターフェイスよりも低コストで、多くのデータを転送することができる。

普及の第 2 の理由は、コンピュータメーカーにとっての利点である。AT インターフェイスを採用すれば、独立したハードディスクコントローラを製品に添付する必要がなくなり、コスト上のメリットが生まれる。不必要なコントローラにコストをかけなくてもすむため、ユーザーに低価格で製品を提供できるようになる。また、AT インターフェイスを使用するドライブは、これまでのインターフェイスをシステムに導入する場合と比較すると、ケーブル 1 本と拡張ボード 1 枚が少なくてすむため、製造コストも安い。

システムボードに特殊な AT インターフェイスコネクタを装備すれば、当然、メーカー側のシステム構築コストは上昇する。しかし、システムボードの中核を成している現行の最新チップには、AT インターフェイスに対する内部サポートが組み込まれているため、ハードディスクインターフェイスの製作には基本的に費用はかからない。ハードディスクなどの周辺機器用にシステムボードに追加するコネクタが、システムメーカーにとっての唯一のコスト増ということになる。

当初、ハードディスクメーカーにとって、AT インターフェイス用の制御回路をドライブ上に組み込むことは利点とはいえなかった。統合化によって構造が複雑になるため、コスト増が懸念されたのである。しかし、IDE を始めとするディスク設計上の数々の新技術がもたらした恩恵によって、制御回路の統合化は、ハードディスクメーカーやほかの周辺機器メーカーにとって、大きなメリットに変わった。

電子機器すべてに共通することだが、ハードディスクドライブ上の制御回路もまた大規模集積化への道をたどりつつあり、必要な機能をすべて搭載した大型の単一チップ(または、少数の大型チップで構成されたセット)の開発競争が繰り広げられている。VLSI チップへの機能の集約は、開発費こそ大きいが、部品点数が減るために、チップの製造コストや製品の組み立てコストが減少するからである。また、部品点数の減少は故障の発生頻度の低下につながり、保証や保守費用の削減という効果も出てくる。

ただし、ディスクの製造メーカーの立場で見た場合、AT インターフェイスの最大のメリットは、ハードディスクの設計上の自由度が高く、同じメカニズムからでもそれまでよりも高い性能を引き出せることにある。AT インターフェイスが介在することによって、ディスクの設計や動作の肝心な詳細がホストコンピュータからは見えなくなる。そのため、従来型のインターフェイスにつきまとっていた規制や制限を難なく打破することができるのである。コンピュータシステムの側がその変化に気付くことはない。ユーザーにとっては、従来型のハードディスクに感じていた不便が解消されることになる。

■ 歴史

AT インターフェイスを使用してパーソナルコンピュータにハードディスクを接続するというアイデアは、Compaq Computer Corporation が「Portable II」コンピュータを開発していた時期に生まれた(Portable II の開発はその後中断されている)。ハードディスクドライブをコンピュータシステムに組み込む際に必要なスロットの数を減らすために、1985 年に新型インターフェイスの設計

が開始された。Portable II は装備できるスロットの数が少ないため、ハードディスクコントローラをスロットに装着せずにすめば、空きスロットを1つ増やすことができると考えたのである。当初の設計では、コントローラは依然として、Western Digital Corporation が Compaq の仕様に合わせて作製した単独のボード上に構成されていた。ただし、このボードはドライブに直接取り付けるようになっていた。

"Integrated Drive Electronics(IDE)"という言葉の誕生は1986年にさかのぼる。その頃、Compaq は、Western Digital や、Control Data Corporation(CDC)の磁気周辺装置事業部(現在は Seagate 社の一部門になっている)との間で、Western Digital 製のコントローラチップを、5.25インチで40M バイトの CDC 製ハーフハイトハードディスクドライブに組み込むための共同開発を行っていた。完成した製品では、コントローラはハードディスクと一体化されていたが、コントローラの回路そのものはハードディスク用のそのほかの回路とは離して形成された。このハードディスクドライブは、コンピュータ本体の拡張スロットに装着したマルチファンクションボードに接続するという形で、まず Deskpro 386 に搭載された。その際、1つの接続を通じて2台のドライブを制御できるように、仕様が拡張されている。

1986年半ば、CDC との共同開発と並行して、Compaq は、Conner Peripherals との間でもう1つの共同開発を開始した。この共同開発では、当時 IDE インターフェイスと呼ばれていたものを、ハードディスクの制御回路のほかの部分と統合したゲートアレイでエミュレートする研究が行われた。コントローラが真の意味で統合化されたのはこのときであり、これによってハードディスクシステムのコストや複雑さは軽減され、信頼性が向上した。AT インターフェイスのコネクタがシステムボード上に装備されるようになるのは、Compaq の「Portable III」からである。

AT バス接続のメリットが明らかになってくると、ほかのディスクメーカーもこの規格を採用するようになった。ところが、公式規格の制定はおろか、非公式なガイドラインの勧告さえも行われなかったため、ドライブメーカーによる各社各様の機能拡張や改変を招く結果となった。そのため、初期の AT インターフェイスを組み込んだドライブでは、製造メーカーが異なると非互換性の問題が生じる可能性がある。特に、メーカーが異なる2台のドライブを同一の AT インターフェイスコネクタに接続すると、正常に動作しないことがある。

1988年10月、ハードディスクドライブの製造メーカーとユーザー企業によって、CAM (Common Access Method)委員会という名称の業界団体が結成され、AT インターフェイスの標準規格をまとめることになった。この団体が1989年3月に AT アタッチメントインターフェイスとして発表した仕様は、1990年11月に規格案として ANSI(米国規格協会)に提出され、1991年に最終規格として公式認可された。

■ インプリメンテーション

厳密な意味での AT インターフェイスドライブとは、パーソナルコンピュータの拡張スロットに直接装着できるものをいう。つまり、ハードディスクカードである。このドライブは、ほかの拡張ボードとまったく同一の信号やコネクタを使用する。したがって、拡張バスはまさしく AT インターフェイスである。

実際の AT インターフェイスドライブはこれとは異なっている。AT インターフェイス仕様に準拠したドライブでは、インターフェイス名から想像するような標準 ISA バスへの直接接続は行わない。ISA バスに流れる信号とは少し異なる信号を使用した特殊なコネクタに接続するのである。

この違いは、コンピュータの拡張バスが、設計上、プラグ接続するようにはなっていないことから生じる。拡張バスの回路は、システムボードのバックプレーンを超えて効率よく信号を伝送できるようには作られていないのである。さらに、将来的にシステムを拡張することを考えた場合、5.25インチのフルハイトのハードディスクを拡張スロットにじかに装着することには抵抗がある。このドライブはあまりにも大きくて無骨である。したがって、AT インターフェイス方式のドライブでは、パーソナルコンピュータのシステムボード上に装備さ

れる、AT規格に準拠した特殊なコネクタを使用することにした。中には、ISA拡張バスやEISA拡張バスを備えたパーソナルコンピュータに、小型のホストアダプタカード（制御回路はドライブ上にあるため、このカードはコントローラカードとは呼ばない）を装着して、このカードにATインターフェイス方式のドライブを接続する場合もある。ただし、マイクロチャネルやローカルバスの信号は、ATインターフェイスが使用する信号とはかなり異なっているため、これらのバスは、ATインターフェイス方式のドライブとは直接的な互換性がない。しかし、ATインターフェイスを使用するドライブはすでに広く普及しているため、マイクロチャネルシステムやローカルバスのスロットにATインターフェイスのドライブを接続できるように、一部のボードメーカーが信号の変換を行う製品を販売している。

ハードディスク用のATインターフェイスは、ISAバスとの完全互換を目指すのではなく、バス信号を少し変えて複雑さを軽減し、互換性を高めている。ハードディスクの動作には、ISA拡張バスの98本の接続の一部しか必要としない。たとえば、通常のハードディスクはメモリマップ型の装置ではないので、ハードディスクの制御に、ATバスの24本のアドレスラインをすべて使用する必要はない。

ATインターフェイスの設計では、バスのアドレス信号を直接利用するのではなく、ハードディスクからのケーブルをアドレスデコード回路に接続するようにしている。この回路によって、ハードディスクの制御に使用されるアドレスに送信された信号だけがドライブに送られるため、アドレスラインは不要になる。ATインターフェイスの接続が実際に使用するアドレスは、仕様には定められておらず、ホストコンピュータの回路やBIOSによって異なっている。

ATインターフェイスの設計では、アドレスデコード回路に加え、バッファ回路を使用して、ケーブルを通じたコネクションがディスクドライブまで安全に保持されるようにしている。ISA拡張バスの8 MHzのバスクロックに対応して、これらの信号は相対的に高速であるため、接続ケーブルの長さには厳密な制限がある。ATインターフェイスの仕様の下では、信号ケーブルの最大長は18インチに制限されている。

ISAバスでは2本のコネクタで合計98本のピンが使用されていたが、ATインターフェイスの仕様では、40ピンのコネクタ1本ですむようになった。データ用の16ビット以外は、各種の制御信号用である（データ用端子については、一部の拡張ボードが8ビットのコネクタしか備えていないため、ATインターフェイス方式のドライブやホストアダプタの中にも8ビットしか使用しないものがある）。制御信号は、ドライブ上の制御回路内の入出力レジスタを通じて、ATインターフェイス方式ドライブの機能を管理する。制御信号には、データの読み取りや書き込みを要求するための信号、DMA転送を行うための信号、診断の実施結果を調べるための信号、ATインターフェイスのポートに接続可能な2台のドライブのどちらが一定の機能を実行するのかを示す信号などがある。また、一部の製品では、ディスクアレイを構成するためには、2台のドライブを同期して回転させる必要があるため、〝スピンドル同期〟信号も送られる。

ATインターフェイスの40本の接続には、拡張ボードに使用されるエッジコネクタではなく、ピンコネクタが採用されている。ピンコネクタ（ヘッダともいう）では、金メッキされたピンが2列にわたって0.1インチ間隔で並んでいる。

ATインターフェイスのコネクタには、ATA信号ケーブルをユーザーが正しく接続できるような工夫が施されている。ホスト側のコネクタにある40本のピンのうち、20ピンは存在せず（たとえば、20ピンだけを抜き取ってある）、ケーブル側のコネクタでは、20ピンに対応する穴は塞がれているのである。コネクタを上下逆に（別のいい方をすれば、裏表逆に）差し込もうとすると、20ピンのスペースにピンがあるため、逆になっていることに気付くというわけである。

ATアタッチメントインターフェイスでは、7本のピン（2、19、22、24、26、30、40）は接地用で、各信号を絶縁するために余分な信号を逃がす役割を果たす。3〜18の16本のピンはデータ専用であ

る。ただし、仕様上は、奇数番号の8本のピンだけを使用して、8ビット接続を行うように定められている。残る16本のピンは各種の信号制御機能に割り当てられている。たとえば、データの読み取りや書き込みの要求、DMA転送、2台のドライブの動作の調整などである。

インターフェイスを通じたデータ転送を制御するための信号には、専用の接続が用意されている。ドライブに対するコマンドや（エラー発生の通知などの）ドライブからの応答は、17個の8ビットレジスタを通じてやり取りする。

ATアタッチメント規格の制御下にある2台のドライブは、無条件に、すべての接続を共有し、インターフェイスを通るすべての信号を受信する。そのため、ATアタッチメントでは、送信するコマンドがいずれのドライブを対象にしたものであるかを通知するために、特殊な制御レジスタを使用する。このレジスタは、使用すべきヘッド、トラック、セクタを指定するためにも使用される。

レジスタの選択には7本の信号を使用する。レジスタには、制御ブロックレジスタとコマンドレジスタの2種類があり、2本のインターフェイス信号によって使い分ける。制御ブロックレジスタを選択する場合は、ドライブチップ選択0信号（37ピン）をアクティブにする。コマンドレジスタを選択する場合は、ドライブチップ選択1信号（38ピン）をアクティブにする。ドライブI/O書き込み信号（23ピン）がアクティブになっている場合は、インターフェイスのデータラインを通じて、ホストからのコマンドを受信するレジスタにアクセスすることができる。ドライブI/O読み取り信号（25ピン）がアクティブになっている場合、このレジスタは、データラインを通じてドライブの状態を示す。

35、33、36のピンはドライブアドレスバスの0〜2であり、現在選択されているレジスタはどれか、データラインを通じて現在アクセス可能なレジスタはどれかといったことを、（ほかの信号とともに）管理する。ATアタッチメント規格では、読み取り制御ブロックレジスタが2つ、書き込み制御ブロックレジスタが1つ、読み取りコマンドブロックレジスタが7つ、書き込みコマンドブロックレジスタが7つ規定されている。アクティブなドライブとヘッド（16基のヘッドまで制御可能）の選択には、書き込みコマンドブロックレジスタを1つ使用する。ドライブ上のトラック（1台のドライブ上で最大65,536本）、読み取りや書き込みの開始セクタ、および読み取りや書き込みの対象となるトラック番号の選択は、2つのレジスタを使用して行う。読み取りレジスタは、どのドライブとヘッドがアクティブかということと、走査されているトラックとヘッドを表わす。そのほかのレジスタは、状態に関する情報を提供し、ドライブの動作中に発生したエラーを表わす。

使用可能なレジスタのビット数によって、装置のサイズが論理的に制限される。16個のヘッド、65,536本のトラック、トラックあたり256個のセクタが最大のサイズである。パーソナルコンピュータの多くは1,024本を超える数のトラックを処理できないため、ATアタッチメント方式のドライブでの実用上の最大記憶容量は、2,147,483,648バイト（2Gバイト）になる。

有効なデータの転送時には、ドライブからの着信データとドライブへの送信データを区別したり、制御レジスタの値が有効で、それが使用できるということを示すために、分離信号をストローブ信号として使用する。ディスクから読み取られた有効なデータがバス内を移動中のときには、ドライブI/O読み取り信号（25ピン）が低位になる。ディスクに書き込まれる有効なデータがバス内を移動中のときには、ドライブI/O書き込み信号（23ピン）が低位になる。

16ビットI/O信号（32ピン）は、読み取り転送または書き込み転送が8ビットと16ビットのどちらで行われているかを示す。この信号がアクティブの場合は、転送は16ビットで行われている。通常、ATアタッチメントでの転送はI/Oプログラム転送モードで行われる。プログラムI/Oは、AT方式のハードディスクのBIOSを使用する場合の標準的な動作モードである。ただし、必要な場合は、DMA転送を行うこともできる。DMA転送中のハンドシェイクを制御する信号は2本ある。ドライブは、DMA要求信号（21ピン）を送信することで、データの読み取り準備とDMAモー

ドでの転送準備が完了していることを通知する。ホストコンピュータは、DMA アクノリッジ信号(29 ピン)を使用して、データの受信準備が完了していることを応答する。全データを一度に受信するのが無理な場合、ホストコンピュータは、後続のデータを受信できる状態になるまでの間、DMA アクノリッジ信号を停止する。

DMA モードでの書き込みの場合、ホストコンピュータは、DMA アクノリッジ信号を使用して、書き込み可能なデータを所有していることを通知する。選択されているドライブは、DMA 要求信号を使用して、データ転送を制御するハンドシェイク要求を行う。データが流れる方向(読み取りと書き込みのどちらが行われるのか)は、ドライブ I/O 読み取り信号とドライブ I/O 書き込み信号で指示する。

AT アタッチメント方式のディスクドライブは、ドライブ割り込み信号(31 ピン)をアクティブにすることで、ホストコンピュータに割り込みをかけることができる。I/O プログラム転送モードの場合、ドライブは、データブロック(通常はセクタ)の転送を開始するたびに割り込みを行う。DMA 転送モードの場合、割り込みが行われるのは、コマンドの完了を通知するときだけである(使用される割り込みはホストの回路によって決められる)。

ドライブがホストコンピュータに、読み書き要求の処理ができない状態であることを通知する場合は、I/O チャネルレディ信号(27 ピン)を使用する。通常、この信号はアクティブになっている。データの転送要求に対して即座に対応することが不可能になると、ドライブはこの信号をオフに切り換える。

ドライブリセット信号(1 ピン)がアクティブになると、ドライブは、転送中のデータやレジスタの内容を放棄して、電源投入時の状態に戻る(設定を変更していた場合でも、すべてデフォルト値に戻される)。ホストコンピュータの電源が投入されると、この信号が短時間(最低でも 25 マイクロ秒間)アクティブになって、ドライブの初期化が行われる。したがって、この信号をアクティブにすると、実行中のコマンドを取り消して、ドライブを初期状態に戻すことになる。

診断完了信号(34 ピン)は、スレーブドライブが、診断を実行中であることを通知する場合に使用する。〝診断完了〞という名称にもかかわらず、この信号は診断の正常終了を示しているわけではない。診断の結果をホストコンピュータに通知できる状態になったことを示しているだけである。実際の診断結果(および診断を実行するコマンド)は、AT アタッチメントインターフェイスのレジスタを通して与えられる。

スピンドル同期/ケーブル選択信号(28 ピン)は、2 台のドライブの回転を一致させるため(ディスクアレイを構成する場合などに必要になる)、または、ドライブ上のジャンパーやスイッチを使用せずに、ケーブルを通じて間接的にマスタドライブまたはスレーブドライブとして設定するために、ドライブメーカーが必要に応じて使用する。スピンドル同期信号として使用する場合、マスタ側のドライブは定期的に(製造メーカーによって異なるが、通常はディスク 1 回転に一度)パルスを生成し、スレーブ側はこの信号を使用して自らの回転をマスタに合わせる。ケーブル選択信号として使用する場合、28 ピンを接地することで、ドライブはマスタ(ドライブ 0)として動作することができる。端子がオープンにされている状態では、ドライブはスレーブ(ドライブ 1)として動作する。

39 ピンには、ドライブアクティブ/ドライブ 1 存在という信号が割り当てられている。この信号は、いずれか 1 つのドライブがアクティブ(たとえば、ドライブシステムのフロントパネルにあるドライブアクティビティインジケータが点灯している状態)であることを示す。この信号はまた、インストールされている AT アタッチメント方式のドライブが 1 台なのか 2 台なのかを判断するために、電源投入時にホストコンピュータが使用する。システムの起動時、スレーブとして設定されたドライブには 400 ミリ秒が与えられるので、この時間内に 39 ピンに信号を出力して、自らが存在することをホストコンピュータに通知する。 マスタードライブは、スレーブドライブが通知を行えるように 450 ミリ秒間待機した後、今度はマスタドライブがこのピンを使用して、自らの存在をホストコンピュータに通知する。その後、ホストコ

ンピュータからの最初のコマンドを受信した時点、あるいは31秒間の待機を終えた時点(どちらか早い方が採用される)で、ドライブはこの信号をオフにして、信号の機能をドライブアクティビティの通知に切り換える。

ATアタッチメント規格は包括的ではあるが、あらゆる点を定義しているわけではない。最大の問題は、パーソナルコンピュータとドライブ間の接続しか規定されていないことである。上流(コンピュータ内部)の処理はホストコンピュータの設計者に任されており、制御レジスタのI/Oアドレスは決められていない。I/Oアドレスを決めるデコード回路は、パーソナルコンピュータのホストアダプタ回路に組み込まれている。また、リンクの確立に必要な情報は、システムBIOS(またはアドインBIOS)によって提供される。

したがって、ATアタッチメント方式のドライブを正しく動作させるためには、システムBIOSが非常に重要になる。ところが、古いBIOSの中には、このドライブを正しく制御できないものがある。特に、日付が1990年4月9日以前のAMI BIOSは完全には互換ではない。システムのBIOSが古い場合は、ATアタッチメント方式のドライブを使用するためには、BIOSを取り替える必要がある。

ATアタッチメントは、ディスクとパーソナルコンピュータの距離を近づけただけではなく、ユーザーにとってもドライブメーカーにとってもメリットの大きな方式であるため、今後も普及が続くと思われる。ユーザーにとっては、あらゆるインターフェイスの中で最も容易かつ気軽にインストールが行える。ドライブメーカーにとっては、速度や容量を改善できる余地が大きい。その上、コストの低さが低価格につながるため、メーカーは販売数の増加を期待でき、ユーザーは経費を抑えることができる。

■ 性能

速度は、ATインターフェイスが持つ最大の可能性である。ただし、初期のドライブではその可能性を十分に引き出せていなかった。1991年末の時点では、ATインターフェイス方式のドライブは大部分が旧型製品のマイナーチェンジ版であり、ATインターフェイス用の制御回路を継ぎ足しただけの中途半端なものであった。そのため、ドライブの回転速度やデータの記憶密度などに関する旧式のインターフェイスの制限を引きずっていた。ATインターフェイスが本来の能力を発揮したのは、システムレベルのインターフェイスに照準を絞った新しいドライブが設計されてからである。ATバスをベースにしていることから考えて、ATインターフェイスは大きな能力を持っているはずであり、ホストコンピュータのバスとまったく同一のスループットを実現できなければおかしい。信号をやり取りするほかのインターフェイス規格のために、新たな制限を設ける必要もないはずである。これに対して、ST506インターフェイスとESDIインターフェイスでは、ディスクとの間で情報をやり取りする速度を、ISAバスの本来の速度の1/3から1/12のシリアル転送速度に落としてしまう。

ATインターフェイスによる接続では、本来、ISAバスとまったく同じスループットを実現できるはずである。8 MHzの公称クロック速度の場合、ATインターフェイスによる接続で8ビット単位の転送を行えば、毎秒4Mバイトのデータを転送できる(一度の転送に2バスサイクルを要するため、インターフェイスはバスのクロック速度の半分で1バイトを転送する)。16ビット単位の転送では、理論上の最大スループットは2倍になり、毎秒8Mバイトに達する。

これらの数字はあくまで理論値であり、実効速度との間には差がある。ドライブ機構には速度上の限界があるため、現実のスループットがその影響を受けるのである。ただし、ATインターフェイスを使用する装置に大容量のオンボードバッファを搭載し、ホストコンピュータから要求されるデータをこのバッファに満たしておけば、このインターフェイスの速度の上限を極めることは可能である。バッファを利用することによって、データ要求がドライブ操作の機械的な遅延の影響を受けずにすむのである。

SCSI

SCSIは、コンピュータ業界では通常は〝スカジー〟と発音するが、熱烈な擁護者は〝セクシー〟と読む。システムレベルのインターフェイスであるSCSIは、拡張バスに周辺機器を接続するための基本機能を提供する。SCSIは、装置とパーソナルコンピュータを接続するための単なるコネクションではなく、サブバスとして機能する。SCSI装置間では、ホストコンピュータのマイクロプロセッサが介入しなくても、データを交換することができる。実際、これらの装置は、ホストコンピュータ本来の拡張バスを通した転送が行われているときでも、SCSIバスを介して動作することができる。

ほかの拡張バス同様に、SCSIバスには、ほとんど制限なく多種多様な装置を接続することができる。接続した装置は、1つのポートを使ってコンピュータとの通信を行う。1基のSCSIポートには、7台までのSCSI機器をデイジーチェーン接続することができる。接続した装置はすべて、SCSIポートを通じたホストシステムの制御下で単独に機能する。

ATインターフェイスと同様に、SCSIでも、装置とSCSIアダプタ間はパラレルに接続される。大部分のSCSIシステムでは、心数の多い1本のケーブルでSCSI機器の接続を行う。このケーブルの基本的なピン配列を表19-3に示す。

表19-3　SCSIケーブルのピン配列

ピン	機能	ピン	機能
1	Ground	2	データライン0
3	Ground	4	データライン1
5	Ground	6	データライン2
7	Ground	8	データライン3
9	Ground	10	データライン4
11	Ground	12	データライン5
13	Ground	14	データライン6
15	Ground	16	データライン7
17	Ground	18	パリティライン(データ)
19	Ground	20	Ground
21	Ground	22	Ground
23	Ground	24	Ground
25	接続なし	26	ターミネータ電源
27	Ground	28	Ground
29	Ground	30	Ground
31	Ground	32	アテンション
33	Ground	34	Ground
35	Ground	36	ビジー
37	Ground	38	アクノリッジ
39	Ground	40	リセット
41	Ground	42	メッセージ
43	Ground	44	選択
45	Ground	46	C/D
47	Ground	48	リクエスト
49	Ground	50	I/O

1991年、SCSIの新しい改訂版が発表された。SCSI 2と呼ばれるこの新SCSIでは、複数のSCSI機器の併用に関する問題点がある程度解消され、SCSI転送の速度も向上している。旧SCSIの8ビットバスは拡幅され、16ビットや32ビットのデータラインを使用できるようになった。SCSI転送の速度が2倍になったため、Fast SCSIという別名でも呼ばれている。この新SCSI規格では、本来は補助コネクタを使用して信号線を追加するようになっていたが、1基のコネクタにすべての信号線を収めるタイプも新たに採用された。

■操作とアービトレーション

単一のSCSIバスに接続した装置はすべて、SCSIアダプタを介したホストコンピュータの制御下で、それぞれ独立して機能する。単にバスの専用線上の信号を使うといった、電球程のインテリジェンスしかないダム型の装置でも理解できるような方法ではなく、SCSIは、接続される機器が高度なインテリジェンスを備えていることを前提として、機器の制御を、基本的に独自のコンピュータ言語である専用コマンドセットによって行う。

SCSIは、従来のハードディスクインターフェイスよりもむしろコンピュータの拡張バスに近い。また、先進的なバスであるマイクロチャネルやNuBus設計にも似ている。これらの最新のコンピュータバスと同様に、SCSIもアービトレーション機能を備えているのである。アービトレーション機能は、バスに接続された複数の装置間で、バスの使用権を持っている装置がどれなのか判断するものである。使用権をホストコンピュータが管理すると、ホストコンピュータのマイクロプロセッサがほかの処理を行っている場合には遅延が生じてしまう。SCSIバスのアービトレーション機能では、使用権のアービトレーションをバス上の装置が代行する。

SCSIバスのアービトレーション機能はハードウェアで実現されている。接続可能な7台までのSCSI機器には、それぞれに固有の識別番号が割り当てられる。割り当ては、通常、装置上のジャンパースイッチかDIPスイッチを設定することで行う。これは、ST506インターフェイスの装置でジャンパースイッチを使用してドライブの選択を行っていたのと同じ方法である。

SCSIバスにアクセスを行いたい装置（イニシエータという）は、バスがあくのを待ってから、SCSIデータラインのいずれかを通じて信号を送信し、自分の存在を通知する。また同時に、対話を行う相手の装置（ターゲットという）に対応した別のSCSIデータラインを通じて信号を送信する。SCSI接続には8本のデータラインがあるため、7台のSCSI機器と1台のホストコンピュータをそれぞれ特定することができる。

なお、アービトレーション機能は、ホストコンピュータとは無関係に、SCSI機器間で行うことができる。また、SCSI機器間での情報の転送も、ホストコンピュータの介在なしに行うことができる。たとえば、SCSIハードディスクは、ホストコンピュータの助けがなくても（そして、ホストコンピュータの性能に影響を与えずに）、SCSIテープドライブにデータをバックアップすることが可能である。コンピュータシステムにおける真の並行処理とは、バックグラウンドでの操作ではなく、このようなバックアップ方法にこそふさわしい言葉である。

さらに、SCSIは再選択機能も備えている。再選択機能とは、一時的にバスへのアクセスが不要になった装置がバスを解放してほかの操作を実行し、その後にバスの制御を再取得することをいう。たとえば、フォーマットの指示を受け取ったディスクドライブは、フォーマット操作を実行する間、バスとの接続を切り離す。実質的に、これもまた並行処理である。

SCSIは高レベルのインターフェイスであるため、コンピュータと、そのコンピュータに接続された周辺機器の内部動作は分離されている。たとえば、SCSI規格の規定では、コンピュータホストとは無関係に、ハードディスクが単独で自らの不良トラックを監視することができる。発見された不良トラックはハードディスクが自ら再割り当てを行い、ホストコンピュータにはすべて正常であると報告する。また、不良になることが予想されるセクタをハードディスクが自動的に検出し、そのセクタ内のデータをほかのセクタに移すことも

できる。この作業に、ホストコンピュータやユーザーがかかわる必要はない。

■ 互換性

SCSIハードディスクでは、ホストコンピュータがディスク上のセクタやトラックを認識する必要はまったくない。SCSIシステムでは、データをブロックという高度なレベルで処理するため、ブロック処理方式の装置はSCSI接続の長所を生かすことができる。特に、Macintoshのオペレーティングシステムには SCSIでの処理を前提とした機構が組み込まれているため、Mac環境ではSCSIがその真価を発揮する。これに対して、PC DOSやMS-DOSはSCSI処理機構を備えていないため、IBM標準システム用のSCSIホストアダプタでは、セクタやトラックに関する操作要求をSCSI形式の要求に変換する必要がある。このため、少なくとも、システムはディスクドライブを直接的に管理する必要はなくなるが、IBMベースのSCSIシステムでは、アドレス変換に起因するオーバーヘッドによってシステムの性能がかなり低下することになる。特に、第一世代のSCSI装置やSCSIホストアダプタでは、この欠点が顕著に現れる。そのため、これらのSCSI機器のメーカーは速度向上に努めてきたが、市場に出ているSCSIホストアダプタのスループットには依然としてかなりの開きがある。最速の製品はSCSIインターフェイスの限界に近い速度を達成しているが、旧式インターフェイス並みの速度しか出せない製品も存在するのである。

AppleのMacintoshは、業界標準となっているSCSIインプリメンテーションとのわずかな相違点を批判されてきたが、異なる点は採用されているコネクタだけである。標準的なSCSI接続では、特殊な50ピンコネクタ1基が使用されている。非同期伝送を採用した既存のSCSI装置では、コネクタの心数の半分以上を接地用に(冗長信号の返送線として)使用する。一方、Macintoshでは、シリアルポート用のコネクタに似た小型の25ピンDsubコネクタが採用されており、冗長信号用の接地線はほとんど設けられていない。小型コネクタであることがMacintoshでの採用理由だと思われるが、これによって、ケーブルの接続も簡単かつ便利になっている。

SCSIの長所を生かして複数の機器を1台のホストコンピュータに接続するためには、互換性という大きな問題をクリアしなければならない。実際には、ほかの機器との相性が悪い装置があるのである。この非互換性の原因は、SCSIという規格の柔軟性にある。SCSI規格では、ハードウェアのすべてのパラメータは厳密に定義されているのに対して、ソフトウェアの仕様はかなり緩やかになっている。SCSIコマンドセットの多くはメーカーの選択に任されており、装置に搭載する機能は、その装置自体が使用するものだけでよい。さらに、SCSIインターフェイスを通じてホストコンピュータがSCSI機器を制御する手段が、SCSI規格では規定されていない。手段の選択は、システムの設計者に任されているのである。

SCSI開発時の本来の動作対象であったミニコンピュータでは、この柔軟性は有効であった。装置メーカーは、それぞれ、特定のコンピュータシステムに合わせてホストアダプタを設定していたためである。ところが、様々な機種が共存するDOSパーソナルコンピュータの世界では、SCSIの柔軟性には問題が多い。現在、DOSのコンピュータシステムでは、CAMとASPIという2種類の標準規格がSCSI制御の主役の座を争っている。ところが、この2種類の規格は別の方向を目指しているようである。

CAMはCommon Access Methodの略であり、ATアタッチメント方式の標準規格の制定に貢献した団体(CAM委員会という)が独自に開発したSCSI規格のインプリメンテーションである。これは、パーソナルコンピュータのオペレーティングシステムを通じて、直接、SCSI機器にアクセスすることができる。これまでCAMを公式に承認した規格制定組織はないが、提唱されてからの期間が長いため、かなりのメーカーが自社の製品に採用している。CAM準拠のSCSIホストアダプタはオンボードBIOSを備えており、このBIOSによってオペレーティングシステムとリンクされる。CAMに合わせて作成されたプログラムがオペレーティングシステムに要求を発行し、該当す

るSCSI機器がその要求を実行する。なお、OS／2のバージョン2.0はCAM準拠であるが、残念ながらCAM準拠のDOSは現時点では存在しない。

もう1つのSCSI制御システムであるASPI（Advanced SCSI Programming Interfaceの略）は、Adaptecというホストアダプタメーカーが開発したものである（ASPIの"A"はもともとはAdaptecのAを意味していたが、Adaptec社が標準規格として認められやすい名称に変更して、Advancedとなった）。現在、このASPIはパーソナルコンピュータ業界に広く浸透しており、Adaptec社は〝事実上の標準規格〟であると主張している。ASPIは、ソフトウェアインターフェイスに対して、ドライバソフトウェアを使用した階層化された手法を採用した。プログラムは、SCSI装置に対する通信やコマンドの送信を、装置ごとに専用のソフトウェアドライバを通じて行う。個々のデバイスドライバとSCSIシステムのハードウェアとのリンクは、統合ASPIドライバが担当する。

ASPI準拠のホストアダプタのBIOSは、ASPIドライバとのリンクを確立するための基本サービスを提供するだけである。

通常、ASPIのBIOSは、WD1002エミュレーション機能を備えている。つまり、1台または2台のSCSIハードディスクをホストアダプタに接続して、それらをWestern Digital社のWD1002というST506方式のハードディスクコントローラとディスクの組み合わせであるかのように見せることができるのである。この機能によってシステムを起動した場合は、特別なドライバを使用しなくても、1台目のSCSIディスクをドライブCに、2台目をドライブDにすることができる。ただし、BIOSでサポートできるのはこれが限界であり、ソフトウェアドライバをロードしない限り、ASPIベースのシステムで、ハードディスクなどのSCSI機器をこれ以上認識することはできない。

ASPIシステムを完全にセットアップするためには、パーソナルコンピュータのCONFIG.SYSファイル内に、必要なデバイスドライバをすべて設定しておかなければならない。また、ホストアダプタや、（最初の2台のハードディスク以外に）接続するSCSI機器用のドライバをインストールする際には、ASPIドライバもインストールする必要がある。各装置の専用ソフトウェアドライバがSCSIシステムとのリンクを行うときには、ASPIドライバが必要になるため、CONFIG.SYSファイル内では、SCSIデバイスドライバのエントリの前に、必ずASPIドライバのエントリがなければならない。

ASPIシステムの構築時には、不注意による問題が発生しやすい。ハードディスクとSCSIホストアダプタを同時に購入し、よく調べないままで、それがIDE ATインターフェイスやESDIハードディスクであるかのように、そのまま単純に接続しているユーザーがいる可能性がある。この場合、ハードディスクは問題なく正常に動作する（BIOSのWD1002エミュレーション機能のおかげである）が、ASPIドライバがインストールされていないため、後で追加したCD－ROMプレーヤーなどをいざ使用しようとすると、CD－ROMプレーヤーのドライバがASPIドライバを発見できないという事態が発生するのである。ASPIドライバがなくても曖昧なエラーメッセージしか発行されないため、数時間もの間、原因を探して悩むことになりかねない。これを避けるには、SCSIホストアダプタに付属しているディスクから、忘れずにASPIドライバをインストールすることである。

ソフトウェアドライバがターゲット装置の探索を行うのは、通常、システムのブート時である。そのため、パーソナルコンピュータの電源を投入するときには、外付けのSCSI装置はすべて作動中でなければならない。つまり、SCSI装置の電源をすべて投入した後で、パーソナルコンピュータの電源をオンにするようにするか、あるいは、電源ボックス（コンセントボックス）を使用して、パーソナルコンピュータとSCSI周辺機器の電源をすべて一度に投入するようにしておくとよい。

19.8　キャッシュ

ハードディスク、フロッピーディスク、光ディスクなどの大容量記憶装置には、必ず、アクセス速度と転送速度という2種類の速度に関する制約がつきまとう。アクセス速度とは、特定のバイトまたはブロックの情報をディスクドライブから読み取るようにコンピュータが要求を発行した瞬間から、その情報がディスク上で発見されるまでの、不可避の遅延時間をいう。仕様上、アクセス速度は平均アクセス時間という数字で表わす。平均アクセス時間とは、ドライブの読み書きヘッドがディスクのトラック間を移動するのに必要な平均時間（ミリ秒単位）である。一方、転送速度とは、ディスク上に格納された情報をパーソナルコンピュータの作業メモリに取り込む速度をいう。通常は、1秒あたりの転送データ量をメガバイト単位で表わす。

アクセス速度も転送速度もドライブの設計上の問題ではあるが、速度の上限は駆動機構の限界によって決まる。アクセス速度は、原則として、ディスク機構がヘッドを移動させられる速度によって決まる。一般的にいって、小型のヘッドほど慣性が小さいため、短時間での移動が可能になる。また、駆動機構が強力であれば、同じ時間で重いヘッド機構を移動できる。一方、転送速度の上限は、おおむね、ディスクの回転速度とトラックのデータ記録密度によって決まる。ディスクの回転が速く、ディスク上のデータビット間の間隔が狭ければ、一定時間にヘッドの下を通過するデータ量はそれだけ多くなり、情報を速く取り出せることになる。

これらの速度制限は機構的な限界に基づくものであるため、速度の飛躍的な向上は期待できない。慣性運動の法則など、科学者の商売道具である各種の法則が瞬間的な加速を妨げようとするため、機械システムを使用する限り、アクセスの遅延は決してゼロにはならない。それどころか、現実の駆動機構では、遅延の程度を人間が気付かないほどのレベルにまで下げることすら不可能である。一方、ディスクの回転速度もまた機構上の限界によって制限されており（ディスクを過度に高速回転させると、遠心力で破壊される）、データの記憶密度も、読み書きを行う部分がディスク表面の個々のビットを見分ける分解能力によって制限されている。

駆動機構に関して大きな問題となるのは、コンピュータの電気的限界や論理的限界と比べて、機構的な限界には桁違いに低いレベルで達してしまうことである。コンピュータにはナノ秒単位やマイクロ秒単位で判断を行う能力があるにもかかわらず、ディスク上のデータが必要になった途端にミリ秒単位の待ち時間が発生する。大容量記憶装置から大量の情報を転送する必要がある場合には、待ち時間はさらに伸びることになる。

このような機構上の限界を突破する最善の方法がキャッシュである。優れたキャッシュ機構があれば、必要な情報を電子の世界の単位に近い速度で取り出すことが可能になる。

DOSベースのシステムにとっては、キャッシュには利点がもう1つある。DOSは基本的に単一処理のオペレーティングシステムである。つまり、一度に1つの機能しか実行できないため、現在処理中の機能が完了しない限り、次の機能は開始できない。ディスクへの書き込みを例に取れば、書き込み操作が終了するまでは、制御権はユーザーに戻されない。

しかし、このように本来は並行処理が不可能であるDOSでも、キャッシュを使用すれば、ある程度の並行処理が可能になる。ディスクへの書き込み操作が終了していない段階で、制御権がユーザーに戻されるようになるのである。わずかこれだけのことでも、ディスクシステムへの書き込み時間が半減するほどの効果を発揮する。

ハードウェアキャッシュとソフトウェアキャッシュ

キャッシュは、一般的に、キャッシュメモリとし

て使用するメモリのタイプに応じて、ハードウェアキャッシュとソフトウェアキャッシュの2種類に分類される。しかし、実用上は、システム内のどの部分にキャッシュが置かれるかによって分類する方が適切である。ハードウェアタイプかソフトウェアタイプかの分岐点は、キャッシュの実現方法にあるということだ。ハードウェアタイプのキャッシュでは、キャッシュ用の増設メモリをシステムに追加する必要がある。これに対して、ソフトウェアタイプのキャッシュでは、パーソナルコンピュータが備えているRAMの一部を利用してキャッシュを構築する。データ圧縮機能と同様、大容量記憶装置用のキャッシュを置く場所としては、論理的に3つの候補地が考えられる。装置自体、コントローラまたはホストアダプタ上、そしてパーソナルコンピュータのRAM上である。

ハードウェアキャッシュとソフトウェアキャッシュの利点について書かれた様々な文献を調べると、最終的な論点はコストに絞られる。ハードウェアキャッシュの場合は、パーソナルコンピュータに増設メモリを装着しなければならない。DRAMはここ数年にわたって供給不足が続き、メモリのコスト増の大きな原因となっているが、それにしても、手頃な大きさのキャッシュ（1Mバイト）を構成するために必要なRAMの現在の価格は、負担になるような額ではない。ただし、ディスクコントローラやホストアダプタの場合は、キャッシュの有無による差は遥かに大きい。キャッシュ付きのコントローラの価格は、キャッシュなしと比較すると3~5倍にも上ることがある。

ソフトウェアキャッシュの場合、通常、システムにメモリを追加する必要はない。このタイプのキャッシュでは、RAMの未使用領域を利用してディスクの読み書きを高速化する。RAMに余裕がない場合は、SIMM (Single In-line Memory Module)の購入費用だけで、メガバイト単位のメモリ拡張が可能である。

キャッシュがもたらす速度向上の程度は、キャッシュの論理的な存在場所に左右される。つまり、ディスク記憶装置の機構的な制限に起因する速度の低下にはいずれのキャッシュも効果があるが、システム上のボトルネックの改善の程度にはキャッシュによる差がある。また、互換性上の障害が発生する可能性も、キャッシュの種類によって異なる。

■ 装置搭載キャッシュ

ハードウェアキャッシュの最も自然な設置場所は、装置自体の中である。この場合、システムとは無関係にキャッシュ機構を搭載することができる上、メモリやソフトウェアを追加するための費用は必要ない。このタイプのキャッシュでは、単純にドライブ自体が高速になったように見える。

ただし、装置搭載キャッシュには大きな欠点が3つある。まず、どのようなハードディスクにも搭載できるとは限らない。最適なのは、SCSIインターフェイスやATインターフェイスなど、システムレベルのインターフェイスを使用するハードディスクである。このタイプのインターフェイスでは、ディスク上の実際のデータが、ディスクの回路内の管理情報（セクタ識別子）とは切り離されているからである。第2の欠点は、インターフェイスや拡張バスによるものなど、ディスクの機構以外に起因する速度低下要因には効果がないことである。3番目の欠点は、既存のディスクシステムの速度を改善できないことである。装置搭載キャッシュを活用するためには、ディスクドライブを新しいものに代えなければならない。

■ コントローラ搭載キャッシュ

キャッシュを置く第2の候補地は、ディスクコントローラ上またはホストアダプタ上である。ここに置いた場合は、新旧を問わず、あらゆるディスクにキャッシュの効果が現れる。また、ディスクインターフェイスに起因する速度制限にもある程度は有効である。必要なデータがキャッシュ内にあった場合には、ディスクインターフェイスを介した場合の転送速度とは無関係に、拡張バスの最高速度でデータがシステムに転送される。ただし、このタイプのキャッシュにもボトルネックが残っている。それはバス自体の転送速度である。拡張バスの動作速度は、マイクロプロセッサがデータを処理する速度の数分の1に過ぎない。そのため、キャッシュによってディスクの速度が向上したとしても、バスに起因するかなりの速度低下が発生

する。また、コントローラ搭載キャッシュの場合、付加的なハードウェアが必要であるため、それが大容量記憶システム全体のコストを押し上げることになる。

■ ソフトウェアキャッシュ

キャッシュを設置する最後の候補地は、システム自体のメモリ内である。この場合、キャッシュはソフトウェアによって実現される。拡張バスよりも下流に位置することになるため、ディスク機構上の速度制限を改善するだけでなく、バスのボトルネックも解消される。ソフトウェアキャッシュに使用するメモリは、パーソナルコンピュータのマイクロプロセッサに直接接続されたシステム内で最速のRAMである。

下流に位置するソフトウェアキャッシュにも、いくつかの欠点がある。まず、本来はプログラムが使用すべきRAMを、キャッシュに転用することである。また、大部分のキャッシュはソフトウェアドライバとして動作するため、ディスクのハードウェアを直接制御するプログラムには、キャッシュの存在がわからない。そのため、不整合が発生して、ディスクのデータが破壊されてしまう可能性がある。さらに、ソフトウェアキャッシュの制御や管理はパーソナルコンピュータのメインのマイクロプロセッサが行うため、システム性能が幾分か低下する可能性がある。

最初と最後の欠点は大して問題にはならない。どのようなキャッシュであれ何らかのメモリは必要になるが、ソフトウェアキャッシュが使用する本体のRAMは価格が最も安い。また、システムボードに単純にメモリを追加するだけですみ、ハードウェアコントローラを別のボードとして用意する必要もない。ソフトウェアが優秀であれば、本章の後半で説明するとおり、メインメモリの使用に対する影響も最小限である。

ソフトウェアキャッシュによるマイクロプロセッサのオーバーヘッドは、通常、ユーザーが気付かない程度の軽微なものに過ぎない。まれにソフトウェアキャッシュがバックグラウンドで動作し続けることがあるが、この場合は、システムのマイクロプロセッサのクロックサイクルを消費する。多くの場合、パーソナルコンピュータがディスクサブシステムへのアクセスを行うときだけ動作する。キャッシュメモリのサイズが適切であれば、マイクロプロセッサのオーバーヘッドを上回る速度向上を達成できるはずである。たとえば、キャッシュによるオーバーヘッドによって、ディスク操作中のマイクロプロセッサの能力が2%低下したとしても、ディスク操作の速度は50%以上も向上するはずである。この場合は、キャッシュの効果がオーバーヘッドを48%分も上回ることになる。

互換性の問題は、ユーティリティソフトウェアとキャッシュドライバソフトウェアの間の、基本的な相性の悪さに起因するだけに、解決は困難である。ただし、最近のソフトウェアでこの問題が発生するのは、非常に特殊な若干のソフトウェアだけである。Disk Manager (On-Track Computer Systems社製) とSpeedStor (Storage Dimensions社製) がそれで、これらのソフトウェアは、パーソナルコンピュータで標準規格外のハードディスクを使用するためのものである。このようなユーティリティやキャッシュソフトウェアの最近のバージョンでは、ここで紹介した問題点の大部分は解消されている。障害が発生する可能性があるのは、初期のバージョンだけである。しかしこれ以外にも、(どのような目的であれ) ハードディスクコントローラのレジスタに直接アクセスするソフトウェアでは、キャッシュの無効化やデータの紛失が発生する場合がある。

そのような場合でも、簡単な解決法がある。問題が発生するディスクユーティリティを使用する間だけは、キャッシュ機能をオフに切り換えるのである。そのようなユーティリティはそれほど頻繁に使用するものではないため (通常は、ファイルの復元やディスクの最適化を行うときにしか使用しない)、キャッシュ機能をオフにしてもそれほど困ることはないだろう。

キャッシュ動作

市販のディスクキャッシュプログラムには、主に3つの点で違いがある。読み取り操作の処理方法、書き込みキャッシュがあるかどうか (ある場合はその方式)、システムメモリの使用法と管理方法で

ある。使用しているパーソナルコンピュータに適したキャッシュを探し出して正しく機能させるためには、この3つの点を検討することが重要だ。

■ 読み取りバッファ

ディスクキャッシュの最も基本的な機能は、読み取り操作のバッファリングである。キャッシュソフトウェアは、システムやソフトウェアがやがて必要とするデータを予測してメモリ上に置いておき、そのデータを要求されたときには、RAM特有の速さでバッファから取り出して提供する。要求されたのがキャッシュ内のデータではなかった場合は、ディスクからデータを取り出すようにアプリケーションに指示が出される。この場合はディスク本来の速度でしか取り出せない。

読み取りキャッシュの動作効率、つまりヒット率は、キャッシュの設計によって決まる。設計では、キャッシュメモリへのデータの格納方法、格納データの更新方法、必要な情報が格納されているかどうかを判断する方法などを考慮する必要がある。

最初の命題は単純である。キャッシュがヒットするためには、キャッシュメモリ内にデータが入っていなければならない。しかし、キャッシュメモリに入れるデータの選択は占いのようなものである。キャッシュ制御プログラムは、システムがやがて必要とするであろうデータを予測しなければならない。キャッシュプログラムでは、通常、単純な方法でこの予測を行っている。アプリケーションからの実際の要求よりも少し多くのデータを、指定されたディスクのトラックや（場合によっては）ファイルから読み取っておくのである。一度読み取ったデータは再度読み取られる可能性が高い、というのがこの方法の根拠になっている。

読み取り要求が何度か行われると、キャッシュメモリはデータで満たされる。そして、制御プログラムは、残すデータと捨てるデータを取捨して、新しいデータを格納するスペースを確保しなければならなくなる。このときに使用するアルゴリズムは、ソフトウェアキャッシュの作成者によって異なる。最も一般的なのは最小使用頻度（LFU）アルゴリズムであり、最長時間未使用（LRU）アルゴリズムもよく使用される。最小使用頻度（LFU）とは、使用頻度が最も低いデータから順に捨てていく方法である。これに対して、最長時間未使用（LRU）とは、前回要求されてからの時間が最も長いデータから順に捨てていく方法である。LFUアルゴリズムは複雑であり、システムリソースも多く必要になる。そのため、LRUの方が効率的である場合も多い。ただし、一般的なシステムに両方のアルゴリズムを搭載して比較した場合、双方の速度差はせいぜい8%に過ぎず、優劣は付けられない。

キャッシュ内のデータを管理するためには、残すデータの選択に要する時間が可能な限り短い方がよい。通常、キャッシュプログラムでは、タグを割り当てて、メモリ上のデータとディスク上のデータとを関連づけている。ただし、各製品が使用するキャッシュアルゴリズムと同様で、この情報の取り扱い方についても、詳細については各社の企業秘密になっている。キャッシュ製品のメーカーには、自社の技術が黒魔術か何かであるかのように秘匿する傾向が強い。

各社が多種多様な黒魔術を駆使しているにもかかわらず、実際のところ、市販のソフトウェアディスクキャッシュ製品の読み取り速度には大した差はない。ハードディスクからの読み取りに限定して比較した場合、パーソナルコンピュータやオペレーティングシステムに付属している無料のキャッシュと市販の有料キャッシュ製品のいずれを使用しても、まず、速度差に気付くことはない。

書き込み操作の速度向上は、読み取り操作の場合とはまったく別の問題である。キャッシュソフトの中には（特に、無料のものには）、書き込み操作のスピードアップをわざと行わないものがある。これらのキャッシュソフトでは、使用中のソフトウェアが記憶装置に対してデータの書き込みや変更を行う際には、時間的な遅延が生じることを覚悟の上でディスクへの直接的なアクセスを行う。これは、速度よりも安全性の方が重要であるという考え方による。

■ 書き込みバッファ

この保守的な方針の根底にあるのは、書き込み

操作のキャッシュ処理には危険が伴うという考え方である。この危険性を解消するためには、長期にわたる開発努力が必要で、これは結果的に、書き込みバッファ付きのキャッシュ機構の製造コストを押し上げることになる。

書き込みキャッシュの最大の問題点は、遅延書き込みにある。すなわち、事前に設定された間またはシステムのビジー状態が解消されるまでの間、ディスクに書き込むべきデータをキャッシュが取り込むのである。キャッシュに取り込んだ後であれば、システムは、速度の低下を気にすることなくディスクにデータを書き込むことができる。加えて、書き込みキャッシュでは、ドライブのヘッドの動きが最少になるようにデータを並べ直すこともできる。また、特定のディスクセクタに対して連続的に何回もの変更を行う場合は、最終的な変更内容だけをディスクに書き込むことによって、書き込み操作の効率を向上させることができる。

キャッシュ機構が情報を集めてメモリ上に保管している間、システムには、ディスクへの書き込みがRAM並みの速度で行われているように見える。したがって、Saveボタンを押した瞬間にユーザーに制御が戻されるため、すぐにほかの作業を始めることができる。

ただし、この高速性と引き替えに、データは危険にさらされることになる。データがディスクに書き込まれたとソフトウェアが考える時間と、実際に書き込まれた時間の間に差があるため、この間に事故や不注意によって電源トラブルなどが発生すると大変なことになる。たとえば、重要なファイルをディスクに書き込んだつもりで、実際には書き込まれていないのに電源をオフにしてしまうと、書き込みキャッシュに格納されているデータはその瞬間に消えてしまう。また、損失はデータの消失だけにとどまらない。一部のオペレーティングシステムやオペレーティング環境は、動作中に電源が遮断された場合には自動的に自己を復元するように設計されているが、この場合、書き込みキャッシュソフトウェアが速度向上のためにデータの本来の順番を変更していたとしても、オペレーティングシステムは元通りの順番に並んでいると考える。結果として、オペレーティングシステムによる自己復元と再構築の作業が正常に動作しない可能性が出てくるのだ。最悪の場合には、不適切な復元が行われ、致命的な事態に至る。

このような問題を避けるために、ディスクキャッシュの多くは書き込みキャッシュをまったく行わないか、または遅延書き込みテクニックを採用していない。遅延書き込み機能を持つキャッシュでも、通常はオプション機能として組み込んであり、オフにできるようになっている。書き込みの最大遅延時間を設定できるものもある。遅延が少なくなれば、データの危険度も減るからである（ただし、速度の向上は望めなくなる）。一部の書き込みキャッシュプログラムには、ウォームブートコマンド（Ctrl と Alt と Del の 3 つのキーを同時に押す操作）を受け付ける機能もある。このコマンドを受け付けたキャッシュプログラムは、キャッシュメモリ内の全データを即座にディスクに書き込み、メモリ内のデータを消去してから、リブートの実行を許可する。なお、この機能もコールドブート（電源オフを伴うブート）では役に立たない。

遅延書き込みを使用しない別の書き込みキャッシュ技術も存在する。この技術では、ディスクドライブの操作をほかの操作と同時に行うことによって、顕著な速度向上を図っている。この技術の考え方は単純である。キャッシュは、アプリケーションからデータを受け取ると、即座にディスクへの書き込みを開始する。ただし、ドライブのインターフェイスやドライブ機構を通じてデータを送信する間もシステムの制御を保持するのではなく、データをキャッシュメモリに書き込んだら即座に制御をアプリケーションに戻すのである。したがって、その後、パーソナルコンピュータでほかの操作を行っている間も、しばらくはディスクへの書き込みが続けられる。

このような並行書き込み方式の場合でも、リスクがゼロになるわけではない。ディスクへの書き込みが終了し、制御がアプリケーションに戻った直後にパーソナルコンピュータの電源をオフにすると、データの一部が消失してしまう。その時点では、全データがディスクへ出力されたわけではないからである。ただし、遅延書き込みシステムの場合のように危険な時間の長さが予測できない

わけではない。ドライブ動作インジケータが消灯した時点で、電源オフやリブートは可能になる。

並行書き込み方式によって短縮される書き込み時間は、優れた設計のキャッシュプログラムで遅延書き込みを行った場合と同等である。どちらのテクニックでも、キャッシュに情報を格納するのに必要な時間は同じであり、また、キャッシュへの書き込みが完了した時点で制御が戻される点も等しいからである。遅延書き込みでは、実際のディスクへの書き込みに要する時間は最少になるはずだが、ユーザーに判別できるほどの差にはならない。

■ メモリの使用法

メモリは、ソフトウェアキャッシュの間で大きく異なる点の1つである。現在、市販の優れたキャッシュ製品では、コンベンショナルメモリ（DOSメモリ）、EMSメモリ、XMSメモリといったパーソナルコンピュータ用の主なメモリはどれでも使用することができる。しかし、ほかのシステムリソースとの間で、キャッシュに必要なメモリをどれだけ効率的に共用できるかという点については、製品間にかなりの違いが見られる。

ソフトウェアによるパーソナルコンピュータ用のスピードアップ技術は、ほぼすべてがメモリの使用を前提としている。中でも、キャッシュとプリントスプーラには大量のRAMが必要になる。メモリが多ければ多いほど、大幅な高速化が可能になるからである。しかし、これらの機能に割り当てるメモリが自由に調達できるわけではない以上、ほかのリソースがプログラムの実行用に確保できるメモリ量が減ることは避けられない。つまり、ディスクキャッシュに割り当てるメモリを1Mバイト増やせば、たとえば、Windowsで動作するアプリケーションやWindows自体に利用可能なメモリが1Mバイト減ることになるのである。

ユーザーはそれぞれ、多大な時間を割いて、パーソナルコンピュータの様々な機能にメモリを割り当てる。その結果、コンピュータのセットアップ内容は千差万別である。キャッシュに大量のメモリを割り当てるユーザーもいれば、プログラムの実行用に大部分を残すユーザーもいる。メモリの割り当てには、ソフトウェアの要件を慎重に考慮することが重要である。たとえばプリントスプーラであれば、大きなプリントジョブを処理できるだけのメモリを割り当てておけなければ、実効は期待できない。メモリが少ないとスプーラがすぐに一杯になってしまい、印刷の終了を延々と待たされるはめになりかねない。この場合、スプーラに割り当てたメモリについては、アプリケーションからの利用は不可能である。

最近のキャッシュプログラムでは、メモリの動的な割り当てが主流になってきている。つまり、必要なときにだけメモリの割り当てを受けるのである（つまり、ほかの機能との間でメモリを共有する）。

メモリの共有機能については、キャッシュ間にかなりの差が見られる。共有を行わないキャッシュプログラムも多い。その場合は、1Mバイトあたり30〜50ドルを支払ってRAMを増設し、キャッシュ用のメモとして割り当てることになるが、これはそれほど大きな出費にはならない。一部のキャッシュプログラムでは、キャッシュだけでなく、RAMディスクやプリントスプーラなどの機能にもメモリを動的に割り当てることができる。このようなキャッシュプログラムでは、搭載しているRAMの量が少ない場合でも、メモリ消費の多い様々な高速化機能からそれなりの速度向上を引き出すことができる。

キャッシュの使用法

システムに組み込んだソフトウェアキャッシュには、様々な使用法が考えられる。まず、書き込みキャッシュとしても活用するのか、それとも読み取り操作のスピードアップだけに的を絞るのかを決める必要がある。判断材料は、パーソナルコンピュータでの作業状況と、リスクに対する考え方の2点である。

パーソナルコンピュータの使用頻度が低い場合、システムの管理を面倒だと感じる場合、システムのリブートや電源オフの前にキャッシュ内容をフラッシュするのを忘れてしまいそうな場合は、書き込みキャッシュは行わない方が無難である。キャッシュ機構がディスクへの書き込みを完了するのを待たずに、ついうっかりと電源スイッチを切ってし

まい、キャッシュを呪うはめになる可能性がある。

注意深い性格のユーザーにとっても、電源トラブルやソフトウェアのクラッシュなど、書き込みキャッシュにはリスクが伴う。実際には、このようなリスクが現実になる可能性は小さい。ここに示したような原因で書き込みキャッシュ内のデータを失うことが、ほかの原因で情報を失うこと以上に起こりそうには思われない。しかし、わずかであるとしても、非常に危険な時間が存在することは事実である。したがって、何らかの書き込みキャッシュ機能を備えた製品を使用するのは、ディスクキャッシュによって最大限のスピードアップを図りたい場合に限るとよい。その場合、遅延書き込み方式と並行書き込み方式の選択は、リスクに対する各人の判断によって決まる。

製品を選択したら、インストールを行わなければならない。その際には、システムのRAMからどれだけをキャッシュに割り当てるかという、困難な決断を迫られることになる。基本的には、キャッシュに割り当てるメモリが多いほど、ディスクドライブの速度を向上させることができる。キャッシュ自体の動作のオーバーヘッドを考えた場合、64Kバイトより小さなキャッシュでは効果は期待できない。キャッシュソフトの販売元の推奨値は最低でも256～384Kバイトであり、できれば512Kバイト～1Mバイトが望ましい。後者のメモリ容量の場合には、通常のディスク使用状況でのキャッシュのヒット率は90%近くになると思われる。

キャッシュのもう1つの問題は、使用するメモリの種類である。基本的な選択肢はDOSメモリ、EMSメモリ、XMSメモリの3種類であるが、DOSメモリは望ましくない。DOSメモリの場合は、キャッシュに使用した分だけ、アプリケーションが使用できるメモリ量が減ることになる。また、DOSメモリでは大容量のキャッシュは構築できない。DOSの規定上、それだけの量のDOSメモリは存在しないからである。

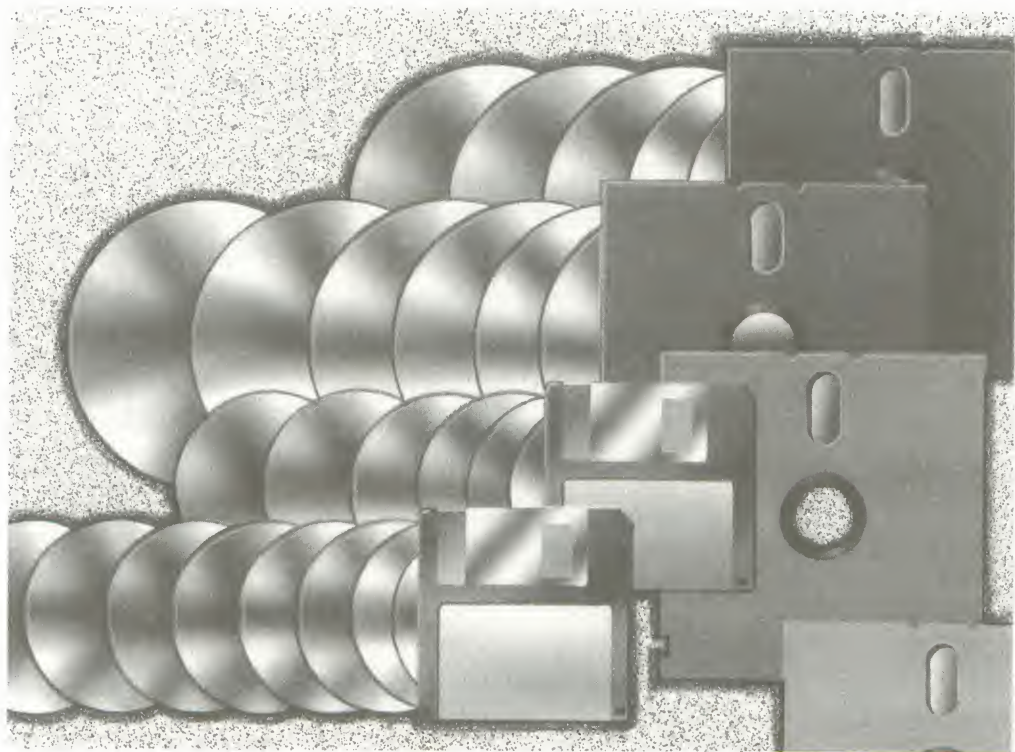
8088プロセッサを使用するコンピュータ(XTクラス)では、EMSメモリがベストである。キャッシュ用のEMSメモリは、拡張メモリボードの形で装着する。EMSメモリでは、実は、メモリボートによるソフトウェアキャッシュと、ハードウェアタイプのディスクキャッシュコントローラボードとは価格がほぼ等しい。XTシステムはもともと速度が遅く、バスに関するボトルネックは存在しないため、いずれのボードを選択しても問題はない。

286プロセッサを使用して10 MHz以下で動作するコンピュータ(ATクラス)では、EMSメモリとXMSメモリが候補となる。通常、これらのメモリは拡張スロットに装着する。いずれのメモリを使用しても効果はほぼ同等であるため、選択に悩む必要はない。なお、ハードウェアキャッシュにはソフトウェア上のオーバーヘッドが存在しないため、ソフトウェアキャッシュよりも高速である。ただし、バスのボトルネックに関しては両者に差はない。

システムのクロック速度が10 MHzを超え、バスのクロック速度を上回るようになると、ハードウェアキャッシュよりも、システムボード上のメモリをキャッシュ用に使用するソフトウェアキャッシュが有利になってくる。同じソフトウェアキャッシュでも、拡張スロットに装着したメモリボード上のメモリを利用するタイプは、バスのボトルネックの影響を受けるため、ハードウェアキャッシュと変わりない。

このレベルの高速システムになると、XMSメモリによるソフトウェアキャッシュが最適の選択になってくる。システムボード上の高速RAMを使用してEMSメモリをエミュレートする場合は、特別な機能を持たせていない通常のXMSメモリを超えることはできない。EMSメモリではシステム管理上のオーバーヘッドが負担になるが、XMSメモリにはオーバーヘッドは発生しないからである。

第20章

フロッピーディスク

フロッピーディスクは、パーソナルコンピュータのデータ交換媒体として最も代表的なものであり、また、バックアップシステムとしても、最も広く使用されている。若干のノートパソコンを除けば、パーソナルコンピュータはいずれもフロッピーディスクドライブを最低1台は標準装備している。フロッピーディスクには直径2.5インチから8インチのものまで、記憶容量も160Kバイトから2.88Mバイトのものまであり、それに対応してフロッピーディスクドライブも様々なサイズと容量のものがあるが、動作方法は基本的にすべて同じである。

パーソナルコンピュータの一号機が動作を開始して以来、フロッピーディスクは恵みであるとともに呪いでもあった。子供や夫婦や政府について昔から言われてきた「いればいたで一緒にやってゆけないが、いなければいないでやってゆけない」という諺がまさにフロッピーディスクにもあてはまる。

確かに、フロッピーディスクなしにはやっていけない。フロッピーディスクは情報の交換、データの記憶、ファイルの保管といった用途にコンピュータが使用する共通手段となっているからである。また、フロッピーディスクは取り扱いが便利である。3.5インチのフロッピーディスクなら5つや6つシャツのポケットに押し込むこともできる。使い方も簡単で、ディスクをスロットに入れ、ボタンを押すか、ドアを閉めると、オンラインでさらに1Mバイト程度の記憶容量が増設されたことになるのだ。

しかし、フロッピーディスクには人をいらいらさせ、欲求不満に陥れる要素があり、ほとんどの人にとってはうまくやってゆくのがなかなか大変なところがある。まず、スピードが遅く、容量が少ない点があげられる。どんな容量のフロッピーディスクでも、いざ使ってみると、必要な容量より数Kバイト足りないのが常である。さらに、フロッピーディスクはいろいろと困難な問題を抱え込んでいる。ディスクに何か問題があっても何の兆候も示さないため、数ヶ月経ってディスクに託していた大事なデータがまったく読めなくなってしまうことがよくある。また、たくさんの規格があるため、ディスクとドライブ、ドライブとコントローラ、そしてそれらとDOSが正しい組み合わせになっているかに配慮しなければならない。ソフトの箱に入っているディスクにぴったりと適合するドライブを持ち合わせていたり、次々と増えていくフロッピーディスクの規格に適合するあらゆるドライブを揃えておく余裕がある人はいないだろう。実際、フロッピーは税金のようなもので、誰もがつきあってゆかねばならないが、それが好きだという人はまずいないのである。

フロッピーディスク自身はシステムの一部にしか過ぎない。論理的には、釘は、ハンマーとそのハンマーを打ちつける腕がなければ何の役にもたたないのと同じように、フロッピーディスクもシステムを構成するほかの部分が揃っていなければ何の価値もない。このシステムの構成要素としては、**メディア**と呼ばれるフロッピーディスクのほかに、フロッピーディスクドライブ機構、フロッピーディスクドライブコントローラ、ディスクオペレーティングシステムソフトウェアが必要である。これら4つは、このシステムを正しく、そして有効に動作させるために必要不可欠なものである。

20.1 メディア

フロッピーディスクには記録メディアとしてプラス面がいくつか備わっている。ディスクの表面が平面であるため、ランダムアクセスの際に目的の位置に容易に到達することができる。ハードディスクと同様に、データはトラックとセクタに配列される。ディスクは読み書きヘッドの下でセクタを回転させ、読み書きヘッドはディスク面上を放射線状に移動して、トラックを判別する。しかし、フロッピーディスクの特質として何よりも重要なのは、脱着可能なメディアであるという点だ。このおかげで、何十枚ものフロッピーを入れ代わりドライブに挿入して、記憶容量を拡大することができるのである。ドライブに挿入すればオンライン記憶装置となり、また、オフラインの状態で、いくらでも必要なだけ保存しておくことも可能なのである。

フロッピーディスクという用語は、物の属性をそのまま名前にしてしまう今の時代に数多く見られる、単純明解な用語の1つである。その外ケースの中には、外見上は平板なレコードのような〝フロッピー〟、すなわち、〝ぺらぺらの〟ディスクが入っている。ディスクは、こねた粉からクッキーを切り取るように、幅の広いロール状になった磁気メディアを打ち抜いて製造する。

幅の広いロールは異常発達したオーディオテープやビデオテープのようなものに見えるが、これは偶然の一致ではない。ディスクの構造は録音用テープと同じで、ポリエステルの基材を磁性酸化物でくるんだものである。ただし、テープとは異なり、フロッピーディスクは両面が磁性体でコートされており、その基材はテープよりも薄くて、およそ3ミル(3／1000インチ)程度である。

片面ディスク

フロッピーディスクは両面が酸化物で被覆されているにもかかわらず、多くは**片面ディスク**として販売されている。これは、片面しか被覆されていないということではなく、メーカーが検査を片面に限定しているということである。片面ディスクは、メーカーによって一面だけが記録用として**保証されている**わけだ。この場合、片面フロッピーディスクドライブで実際に使用されるのは、慣例としてディスクの底面となっている。

フロッピーディスクの検査は、製造過程で最も費用がかかる作業である。両面をテストすると時間が長くかかり、不良品のディスクも必然的に多くなる。両面になると、問題が生じる余地がそれだけ大きくなるというわけである。フロッピーディスクは片面でも両面でも、実は両方ともまったく同じ分量の磁性体を材料として製造されているのである。

メーカーが通常行っている検査の代わりに、(フロッピーディスクの初期化の際に)自分自身で検査を行い、フロッピーディスク用の支出を節約している人も多い。このような人たちは、買ってきた片面ディスクに、自分で両面のフォーマットを行っている。これは、不良品の検出の費用(手間)がメーカーからユーザーに移動したということで、両面ディスクとしては不良品だったとしても、たとえばデータファイルのコピーを友人に渡したいというだけであれば、用は足りる。

これに対し、ユーザーが自分のディスクドライブで実行できる検査と比べれば、もっと厳しい検査を行っているとディスクメーカーは主張するだろう。それはそれで正しい。だが、ユーザーのフロッピーディスクの用途は、工場の検査のように完全な(あるいはほぼ完全な)確実性が必要とされるほど重大でない場合もあるのだ。

高密度ディスク

磁気メディアにも様々なものがある。ディスクの磁気コーティングについては、メーカーそれぞれに非公開の独自規格がある。違いの1つは、データを実際に記憶する磁気粒子の大きさである。いわゆる**高密度**ディスクは、極細粒の磁性体を使った磁気メディアを使用しているため、小さいスペー

スに多くの情報を詰め込むことができる。このフロッピーディスクは、通常密度のフロッピーに比べると保磁力が大きい。

フロッピーディスクドライブはすべて**倍密度**記録を行うMFM記録方式を採用している。倍密度という用語を容量が小さい5.25インチのフロッピーディスクに使用しているメーカーも多いが、この意味でいえば、通常ディスクも高密度ディスクも実際は倍密度なのである。通常密度のフロッピーと高密度フロッピーの中間の容量(5.25インチディスクで720Kバイト)の**クォッドデンシティ**と呼ばれるフロッピーを使用するコンピュータもあったが、このフォーマットはIBMやDOS規格としては採用されることはなかった。

通常密度のディスク、特に5.25インチディスクを高密度フロッピーのようにフォーマットできることがよくある。というのは、このサイズのフロッピーディスクドライブはほとんどがメディアの違いを識別できないからである。ときにはエラーが増えることもあるが、通常密度のフロッピーディスクの多くは高密度でもフォーマットできるものなのだ。ただ、時間の経過とともに、保磁力の違いの影響が現われてくる。異なる形式に初期化したディスクは、古くなってくると正しいフォーマットで初期化したディスクに比べてかなり早くリードエラーを起こすようになる。安全と思っていた記録は不確実なものとなってしまう。嫌になるほど多量にファイルを失えば(1枚で十分に違いないが)、このような近視眼的な節約を二度と試そうとは思わなくであろう。

超高密度ディスク

最新のフロッピーディスクになると、ディスクの記憶容量はこれまでの最高記録をさらに更新して、1枚で4Mバイトにまで増大している。これは標準DOSフォーマットでは2.88Mバイトとなる。こうした超高密度ディスクは、その前の通常密度や高密度ディスクとサイズや形は同じだが、高密度ディスクよりもかなり高い保磁力を持っている、まったく異なる磁性体(バリウムフェライト)を使用している。また、磁性体は、ほかのフロッピーディスクのようにディスク面に対して横向きに配列されているのではなく、垂直に、つまり、ディスク面に対して直角に立てて配列されている。このように超高密度ディスクはほかのディスクとは非常に異なっているため、新しいドライブ機構が必要である。通常密度ディスクおよび高密度ディスクは超高密度記録用としては使用することはできない(逆に、超高密度ドライブは前のディスクと互換性があり、それぞれの定格容量で使用できる)。

ディスクのサイズ

フロッピーディスクは、最長12インチから最小2インチまでのものが作られており、これらの間には数え切れないほど様々なサイズがある。その中でも、パーソナルコンピュータの世界で認知されている(認知の程度は異なるが)のは、直径8インチ、5.25インチ、3.5インチの3種類のサイズのものだけである。また、直径2.5インチのディスクが、あるノートパソコンで短期間ながら使用されていたこともある。Xインチという数字は、磁性体がコートされているディスクの直径である。ディスクはすべて表面積全体を覆うプラスチック製のシェルに収められている。

最初に登場したフロッピーはサイズが最も大きなタイプである。1971年に初めて登場した8インチフロッピーディスクは、IBM PCの一号機誕生以前の小型コンピュータシステムにおける標準となった。この大型フロッピーには、購入するだけの価値のある多くの特長があった。少なくとも同量の情報を保管できる用紙と比べれば、形は小さくて使いやすく、標準化されている。何よりも、製造費用が安く、信頼性が高い。当時のコンピュータマニアの立場から見ると、このディスクはランダムアクセス能力が優れている点で、少なくともその頃は唯一の交換可能なメディアであったカセットテープと比べた場合に、まさに神の賜物であった。

IBMが最初のPCを発売するまでに、ほかのコンピュータメーカーは1976年に登場した5.25インチフロッピーへと移行しており、IBMもその趨勢に追随してこのサイズを採用した。前の8インチサイズのディスクよりも小さいことから、5.25インチフロッピーを**ディスケット**と呼ぶ人たちも

いた。ディスケットという呼び名は、その後のもっと小さいサイズのディスクにまで使用された。

PCの量産が始まると、コンピュータメーカーは小型サイズのディスクに各社独自のデータ記憶フォーマット（および容量）を導入し始め、一時は50種類以上ものデータフォーマットが各メーカーにより使用されていたこともあった。しかし、IBMの名前が持つ威光とPC発売の成功の結果、IBMフォーマットが初めて5.25インチフロッピーディスクの真の標準となった。

5.25インチフロッピーの一番の長所はその小さなサイズにある。実際、こうした小型化のおかげで、デスクトップタイプのパーソナルコンピュータも実現可能になったのである。ただし、サイズが小さいことのマイナス面として、容量もそれだけ小さいということがある。8インチディスクの容量がMバイト単位であるのに対し、IBM標準の最初の5.25インチフロッピーディスクの容量はわずか160Kバイトにすぎなかった。

PS／2シリーズが登場する以前から、ラップトップタイプのポータブルコンピュータによって、より小さなディスクの必要性が業界に提起されていた。その結果、5.25インチよりさらに小さな3.5インチフロッピーディスクがIBMの製品ライン全体の標準となった。3.5インチフロッピーディスクは小型である以外にも、酸化物の改良と精密設計によって記憶容量が大きくなり、強いプラスチック製シェルにより頑丈さが増したことも大きな長所である。

5.25インチフロッピー

5.25インチディスクはサンドイッチのような形をしている。パンはシェル（ジャケット）で、間に挟まれたボローニャソーセージがディスクである。その名のとおり、このディスクは直径が5.25インチあり、ディスクを挟んでいるジャケットは5.5インチ四方の大きさになっている。5.25インチフロッピーディスクの構造を図20-1に示す。

ジャケットは丈夫で弾力性のあるプラスチックを2つに折りたたんだもので、超音波を使って接合されている。ジャケット内側には不織布が1枚入っているが、これはディスクが回転する際にジャケットとの間に生じる摩擦を減少させるとともに、ディスクからよごれを取り去るライナーの役目を果たしている。

ジャケットの中心には大きな穴があり、ディスクドライブに挿入するとドライブハブがここにぴったりはまる。この穴の部分でドライブ機構がしっかりとディスクを固定し、スリップすることなく回転させる。ジャケットの中のディスクには縦横ともに十分な遊びがあるため、中心を正確にハブに合わせることができる。

ハブクランプは円錐台のような形をしている。直径の小さい方からディスクのハブホールに入り、最終的にハブクランプとディスクのハブホールの大きさがぴったり一致する地点で止まり、この位置でディスクが固定される。クランプは、ハブホール周辺にあるディスクの小さな円（約1／16インチ）を押さえつけて、ディスクをハブにしっかりと固定している。

ディスクのハブホールが最も摩耗、破損しやすい部分である。位置合わせするときにここがゆがんで壊れたり、ハブクランプで押さえつける前にディスクが回転すると、摩耗してしまうことがある。損傷を防ぐために、保護用の**ハブリング**を取りつけて、この要の中心部を強化しているディスクも多い。両面にハブリングが取りつけてあるディスクもあるが、それ以外は1つしか使用しない（その場合、裏面の方が摩耗が大きいため、裏面に取りつけてあるはずである）。また、ハブリングがまったくないものもある。主として高密度フロッピーがそうだが、これは、高密度記録の場合には厳格な誤差しか許容されないため、ディスク上で位置がずれやすいハブリングは取り付けが省略されたというわけである。

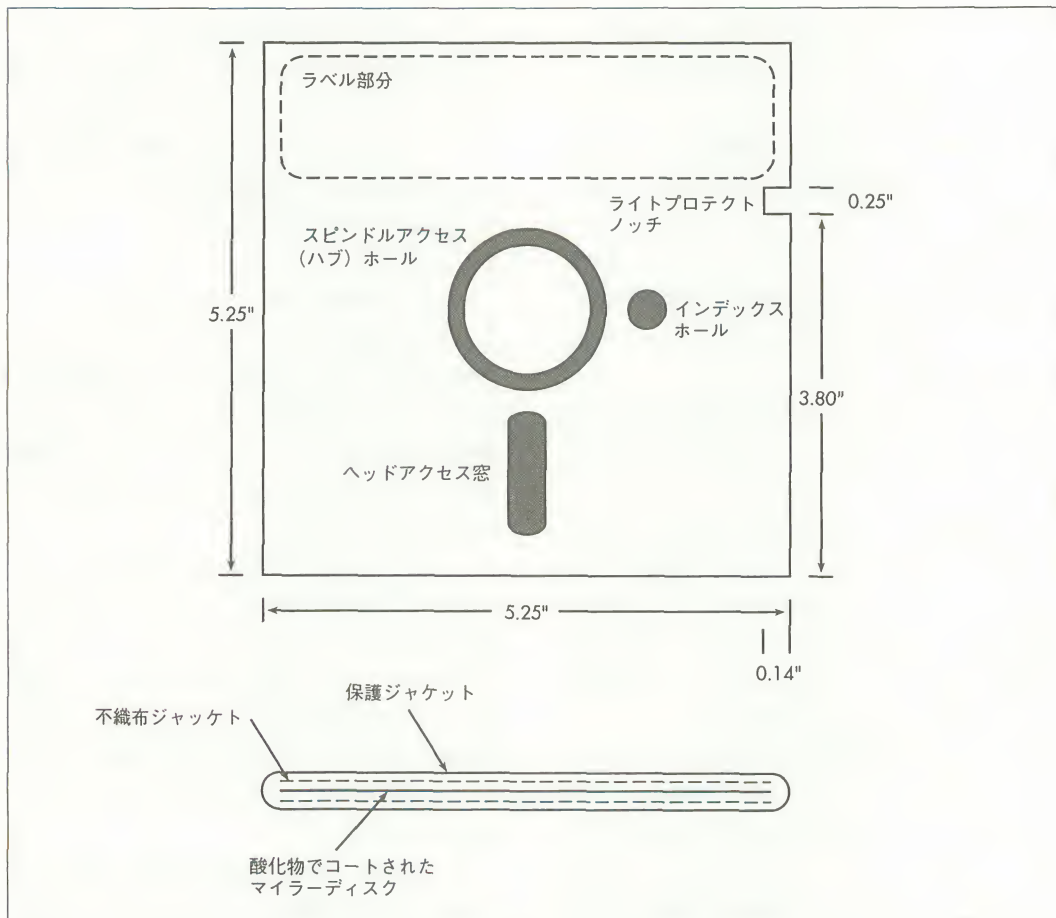



図20-1　5.25インチフロッピーディスクの構造

インデックスホール

ジャケットにはハブホール近くに小さな穴があるが、これはディスク内のデータ位置を機械的に検出するためのものである。5.25インチディスクをジャケットに入れたまま回転させてみると（磁気面に触れないようにして、2本の指をハブホールに差し込んみ、その指を広げてディスクを固定し回転させる）、ディスクの小さい穴がジャケットの小さい穴と重なり合う位置にあることがわかる。これが**インデックスホール**である。

インデックスホールは、光をディスク面に当ててこの穴を検出すれば、放ディスク面上の位置を正確に確定できるというアイデアが基本になっている。穴がディスクが回転している位置を示す絶対的な目印となるわけだ。

穴が数個ついているディスクもあり、各セクタの先頭を示すのにこれらの穴を使用していたフロッピーディスクドライブもあった。この印は、ディスクというハードウェアに固定された絶対的な位置を表わすことから、このようなタイプのフロッピーディスクは**ハードセクタ式**と呼ばれていた。

普通のパーソナルコンピュータに使われているフロッピーディスクドライブでは、この穴は古き設計の遺産に過ぎず、現在はどのような目的にも使用されていない。今日のパーソナルコンピュータのフロッピーディスクドライブでは、磁気によりセクタを区分けしている。各セクタの位置はソフトウェア、つまり、ドライブを制御するオペレー

ティングシステムにより変更が可能であり、このようなフロッピーは**ソフトセクタ式**と呼ばれている。

ソフトセクタ方式のディスクドライブはハードセクタ方式とソフトセクタ方式のいずれのディスクも使用することができる。逆に、ハードセクタ方式のシステムではソフトセクタ方式のディスクを使用することはできない。デスクトップコンピュータの暗黒時代に置き去りにされたような、このシステムを搭載したマシンを持っている人は、それ用のフロッピーを買いだめしておこうと考えるかもしれないが、供給先を見つけるのは難しい。

セクタ数

ソフトセクタ式のフロッピーディスクの場合、実際のデータフォーマットは、使用するソフトの制御により異なる。IBM DOS 1.0 では、フロッピーディスクのフォーマットは1種類しかなかった。このフォーマットでは、5.25 インチフロッピーディスクの片面は 40 トラックになり、各トラックは 8 セクタに区分けされる。全容量は 160K バイトだったが、両面ディスクドライブと DOS の新しいバージョンができると、ディスクの容量は倍増した。

DOS 2.0 ではフォーマットの種類が追加されている。オペレーティングシステムが修正され、40 トラックの 1 トラックにつき 9 セクタとなった。このバージョンの DOS で行ったフォーマットは、前のバージョンのフォーマットとも互換性があり、両面ドライブであれば、片面でも両面でも、また、8 セクタでも 9 セクタでも、ディスクの読み取り、書き込み、フォーマットができるようにになっていた。

AT マシンおよび DOS 3.0 と共に発売された高密度ディスクでは、データの密度をトラックとセクタの両方を増加させることで記憶領域を拡大している。高密度フロッピーディスクとそれに対応したドライブを使用するこの新しい DOS バージョンでは、ディスク各面が 80 トラック、15 セクタとなっている。

超高密度磁気メディアは、今までのところ 5.25 インチフロッピーには使用されていない。

高密度ディスクの非互換性

トラック数の増加を実現するためには、高密度フロッピーディスクドライブの読み書きヘッドをもっと細くする必要があった。そして、この変更の結果、倍密度ディスクとの間に書き込みとフォーマットにおける互換性が失われることになった。高密度ドライブは IBM の 5.25 インチフロッピーディスクのフォーマットを読み書きし、ディスクをフォーマットすることができるが、そのドライブで作成したディスクは恐らく倍密度ドライブでは読むことができない。幅の細いヘッドでは、トラック全体に磁気データを埋めることができないため、ヘッドの範囲外に磁気フィールドが取り残され、倍密度の幅の広いヘッドではうまく読み取ることができないのである（図 20-2 参照）。

一般的にいえば、倍密度ディスクを倍密度ドライブでフォーマットした場合、高密度ドライブでそのディスクにデータを記憶させても、倍密度ドライブで読み取ることができる。しかし、倍密度ドライブでディスクに何かを書き込み、今度は高密度ドライブを使って、その上に書き込みを行うと、そのディスクは倍密度ドライブでは多分読み取ることができなくなるだろう（高密度ドライブなら問題なく読み取れるはずだ）。

ヘッドアクセス穴

ディスクのジャケット両面に大きな卵形もしくは細長い（競技場のトラックを引き延ばしたような形）穴が開いているが、これは、フロッピーディスクドライブの読み書きヘッドがディスク面に接触できるようにあけられたものである。**ヘッドアクセス穴**という名前のついたこの穴に関しては守るべきルールが 2 つある。1 つは、ディスクをドライブに挿入する際には、この穴のある方から先に入れるということ、そして、この穴によってディスク面が露出しているが、絶対に触ってはならないということである。この 2 つのルールは、フロッピーディスクドライブを正しく動作させるために知っておくべき事項の 1 つである。

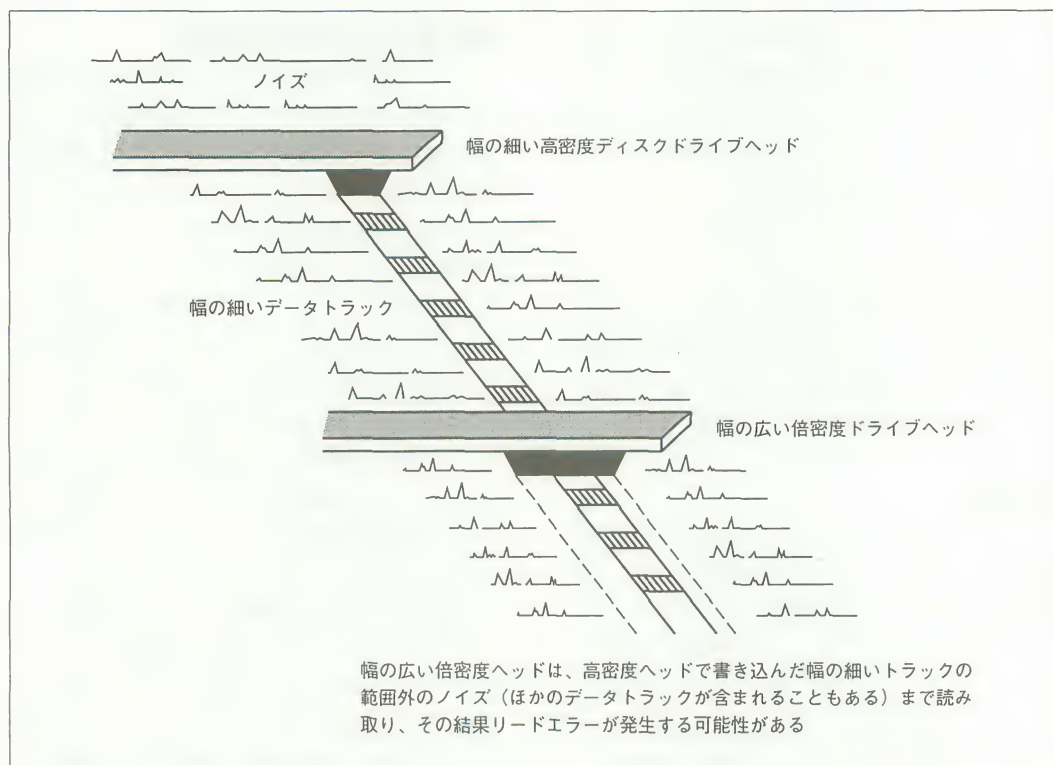



図20-2　倍密度フロッピーディスクヘッドと高密度フロッピーディスクヘッド

ライトプロテクトノッチ

ディスクを挟んでいるジャケットは全体としては四角形だが、一ヶ所だけ切れ目が入っている。**ライトプロテクトノッチ**と呼ばれるこの切れ目が、ディスクドライブ内のスイッチによって感知されると、そのディスクは書き込み動作が可能で、読み書きやフォーマットをすることができることになる。これに対し、ノッチがライトプロテクトタブかテープで覆われている場合は、ディスクドライブセンサが切れ目を感知しないため、そのディスクはライトプロテクトされているということがドライブからコンピュータに通知され、ディスクに書き込みをしたり、フォーマットすることはできなくなる。

8インチディスクにもライトプロテクトノッチが付いているが、ノッチの働きはちょうどこれと逆になる。ノッチが検出されなければ、そのディスクは書き込みが可能ということになり、逆に、ノッチから覆いを取るとライトプロテクトされる。

5.25インチディスクが採用している機構には長所がいくつかある。ディスクを上下逆さに挿入した場合、ライトプロテクトノッチの位置が変わるため、ドライブはノッチを検出できない。したがって、間違ってディスクを上下逆さにしても書き込みはできず、貴重なデータを破壊せずにすむ。また、初めからノッチのない特殊なディスクを作って、これでソフトウェアの配布用コピーを作れば(ディスク複写装置はノッチがあるかないかの規則に従う必要がないため、書き込みを行える)、間違って消されたり、変更されたりするのを防ぐことができる。

ノッチを使ってかけた物理的なライトプロテクトは、ソフトウェアで取り消すことはできない。ライトプロテクトエラーの後で、〝Abort、Retry、Ignore?″というメッセージ(DOSの新バージョンでは、〝Abort、Retry、Fail?″)が表示されたとき、Ignore(無視)という命令をシステムに与えても、プロテクトを解除することはできない。この

場合は、ライトプロテクトタブを取り除くか、慎重にディスクジャケットを切り取り、自分でノッチを作ることでプロテクトを解除するしかない。

スリリングな人生を送る主義の人は、ディスクドライブ内のライトプロテクトノッチを感知するスイッチにつながる線を切ってしまうこともあるかもしれないが、これは大きな間違いだ。こういう人は、プログラムやデータファイルのたった1つしかないコピーを破壊してしまってから、初めてハードウェアによるライトプロテクト機構がどんなに貴重であるかに気付くことだろう。

フリッピーディスク

かつて、フロッピーディスクに**フリッピーディスク**と呼ばれる変わり種が1つあった。これは、ディスクの両面が使えるように、片面ディスク用ドライブで裏返して(フリップオーバ)使用することができるディスクである。ディスクの裏返しを防止できる手段はライトプロテクトノッチだけだったため、技術革新に燃える企業は、ディスクジャケットの裏側にもう1つ切り込みを入れるという方法で、どちらの面を上にしてもフリッピーをフロッピードライブに差し込めるようにしたのである。

フリッピーディスクの便利さはパーソナルコンピュータ市場では限定されている。最初のPCの第一世代のものには片面ディスク用ドライブが搭載されていたということはその理由ではない。設計に致命的な欠陥があるのだ。つまり、ディスクが裏返しにされたとき、ディスクは反対方向に回転してしまうということである。ディスクが反対に回転すると、ディスクジャケット内のライナーのけばを反対方向に曲げてしまい、そこにたまったほこりを払い立てて、ディスク面上に再びそのほこりを撒き散らすことになる。これによって、ディスク面に施された磁気コーティングの寿命が大幅に短縮されてしまうのだ。

一時期、一部のソフトウェアがフリッピーで流通したことがあった。片面にIBM PC用のデータを、反対の面には同じデータがApple IIのフォーマットで収めてあった。IBMマシンはAppleのディスクを認識しない(逆も同じ)ため、コンピュータ側はこのフリッピーディスクを片面ディスクと見なす。したがって、IBMとAppleの規格に適合した2台のコンピュータシステムを持っている人でなければ、このフリッピーを裏返してみようなどとはしない。裏返してみたい人は、事前にコピーを作ってフリッピーディスクのデータを残しておいてからにしたほうがいいだろう。

3.5インチフロッピー

ポータブルコンピュータやAppleのMacintoshのような小型機の登場により、さらに小さなフロッピーディスクの必要性が高まった。直径2インチ分小さくしたミニチュア版の5.25インチシステムを始めとして、不成功に終わった様々な試みがなされた後、最終的にはSonyが最初に発表した、3.5インチシステムがほぼ全世界的に受け入れられることになった。3.5インチディスクはシャツのポケットにちょうど入る大きさで、使いやすく、しかも、投げ飛ばしてもなんともないほど丈夫で、信頼性が高いという点が長所である。3.5インチディスクの構造を図20-3に示す。

頑丈なジャケット

3.5インチシステムは、長らく使われてきた5.25インチの設計にいくつかの改良を施したものである。最も顕著な改良点はその堅固なジャケットで、頑丈でありながら、若干の弾力性も備わっている。5.25インチディスクでは、ディスクのラベルにボールペンで書き込んではいけないとされているが、3.5インチディスクの場合は堅固なジャケットで保護されているため、このような5.25インチでの禁止行為も行える。サイズの大きなディスクでは露出しているヘッドアクセス用の領域が、ほこりやごみや指紋に対して無防備だったが、3.5インチの設計では傷つきやすいヘッドアクセス部分を、スプリング式の金属製スライディングシールド(シャッタ)で覆っている。このシャッタは、ディスクをドライブに挿入したときのみ自動的に開くようになっている。このような保護が配慮されているため、3.5インチディスクは、スリーブやサックで保護する必要がない。

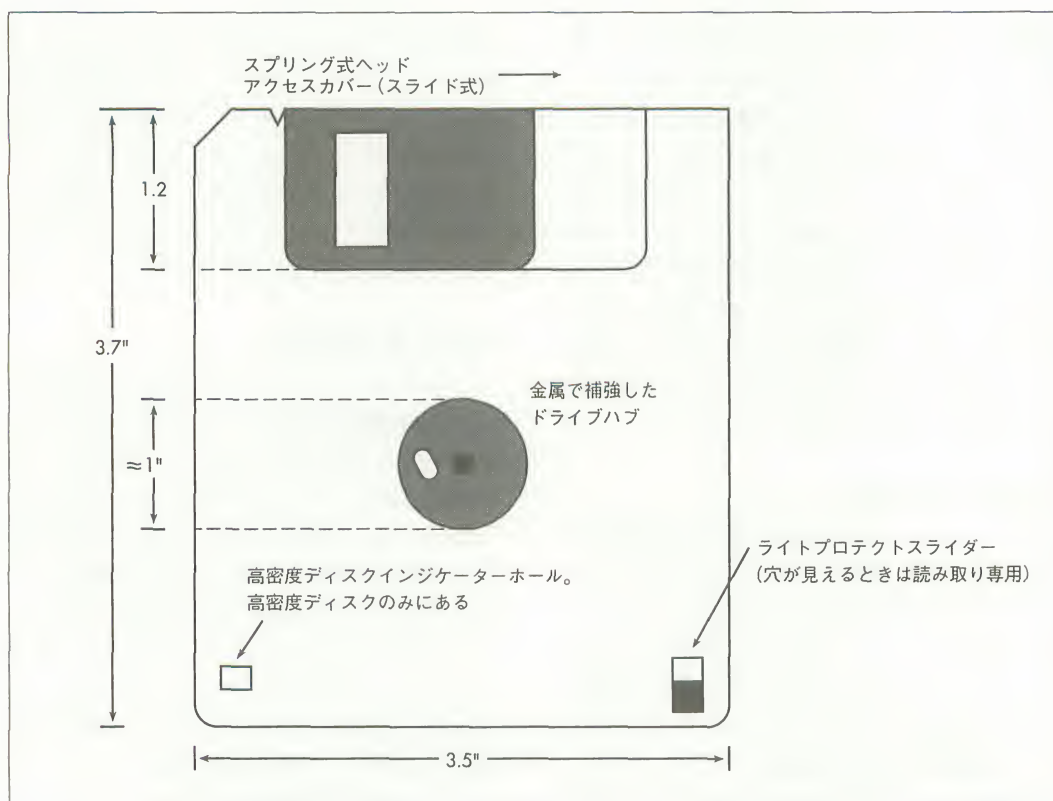



図20-3　3.5インチフロッピーディスク

挿入キー

5.25インチディスクとは異なり、3.5インチディスクでは間違った装着を防止する設計になっている。ディスクのジャケットは角が1つ切り取ってあり、正しい向きで挿入されたときのみ、ディスクがきちんとドライブに収まるようになっている。

ライトプロテクション

3.5インチディスクの設計では、ライトプロテクトノッチやタブの代わりに、穴とプラスチックのスライダーを使用している。スライターが穴をふさぐと、そのディスクは読み取り、書き込み、フォーマットを行うことができ、逆に、スライダーを元の位置に戻して穴が見えるようにすると（あるいは、ソフトウェアの配布用ディスクに多く用いられているように、スライダーを完全に取ってしまう）、ディスクは書き込み禁止となる。

トラック本数の増加

3.5インチディスクの記憶容量は、小が大になりうることの証明となっている。5.25インチディスクに比べると3.5インチディスクには記録に使える面積が半分以下しかないにもかかわらず、実際はこの小さなディスクの方が多くのデータを詰め込むことができる。標準フォーマットの場合、通常密度では最高720Kバイト、高密度では最高1.44Mバイトの記憶容量になる。この容量の増加は、保持力の高い、より細かい粒子の磁性体を使用した結果である。しかも、3.5インチディスクでは金属製ハブを使っているため、機械の動作が一層なめらかで確実なものとなり、しかも損傷や摩耗に強く、ディスクの位置合わせという昔ながらの問題はある程度解消されている。3.5インチディスクの設計では、従来の1インチ当たり48本または96本のトラック密度の代わりに、1インチあたり135本という高密度になっている。ただし、領

域が限定されているため、そこに収まっているのは 80 本のみである。

セクタ数

IBM Convertible や一部の互換機が使用している容量の小さい IBM 3.5 インチドライブでは、通常の両面倍密度ディスクと物理的、論理的に同じ配列（1 トラックを 512 バイトのセクタ 9 つに分ける）を採用し、トラック数のみを倍増して（最高 80 本）容量を増加させ、720K バイトを達成している。PS／2 シリーズやそれ以降の新しい互換機のほぼすべてで使用されている高密度ディスクになると、（1 トラック当たり 18 セクタとすることで）各トラックのデータ密度を倍にして、限界の 1.44M バイトという容量を達成している。なお、片面の 3.5 インチディスクは IBM の仕様ではサポートされていない。

挿入されたフロッピーディスクが通常密度のものであるか、高密度のものであるか、ディスクドライブは判別できる。高密度ディスクには**高密度ノッチ**（穴）があり、ドライブはこれを感知して高密度であることを知る。

超高密度ディスクも、高密度ディスクと同様に、1 インチに 135 本の割合で配置したトラック数（80 本）になっているが、トラックごとのセクタ数を 18 から 36 へと倍増している。トラック幅は以前のタイプのフロッピーディスクと同じである。こうした配列により、超高密度フロッピーディスクドライブは互換性について何の問題もなく、720K バイトおよび 1.44M バイトの両方のフロッピーディスクを読み書きできるようになっている。

2.5インチフロッピー

1989 年、Zenith Data System は、倍密度の 3.5 インチドライブシステムに従った新しい 2.5 インチフロッピーディスクシステムを導入したが、これは短命に終わった。ドライブのトラックとセクタの配置は 3.5 インチと同じで、容量は 720K バイトだが、2.5 インチドライブの方が小さい分だけ、情報を詰め込む密度は明らかに高い。サイズを小さくした理由は、フロッピーディスクドライブを可能な限り小さい筐体に収めるためであった。着脱可能なメディア、つまりフロッピーディスクを使えないノートパソコンなど誰も欲しがらないと Zenith は信じていたのである。Zenith にとって残念なことには、ユーザーがパーソナルコンピュータにフロッピーディスクを使用することにこだわるそもそもの理由は、ディスクを交換してデータをデスクトップコンピュータに移すことができるということである。したがって、これができない Zenith の非標準のフロッピーディスクドライブは、誰も使おうとは思わなかった。ファイルをこの小さなフロッピーにバックアップできても、Zenith のノートブックコンピュータからいざそのデータを移そうとすると、フロッピーディスクドライブが付いていないマシンと同じように、そのノートパソコンをデスクトップコンピュータに接続しなければならなかった。Zenith のこうした苦い経験の後は、2.5 インチドライブを選ぶメーカーはなかった。

20.2　フロッピーディスクドライブ

一般にコンピュータ機器がそうであるように、フロッピーディスクドライブも単純な装置である。基本的な構成部品としては、ディスクを回転させる**スピンドルモータ**、メタルバンドを外側や内側に移動させて、読み書きヘッドを適当な位置に運ぶステッパモータ、そして、いくつかの部品を組み合わせた**ヘッドアクチュエータ**と呼ばれる部品の 3 つである。ディスクを中心に合わせて固定し、読み書きヘッドをディスク面に押し当てるために、ハブクランプを下げる操作は手動式の機構で行われる。最初の IBM PC に使われていた片面ドライブを除き、ドライブにはすべて 2 つのヘッドが

使用されている。2つのヘッドはディスクをはさむ形で両側についており、どちらかの面を選んで読み書きを行う。ディスク両サイドのトラックはインターリーブされているため、2つのヘッドはぴったりと上下に重なるのではなく、少しずれている。

速度制御

ドライブ装置には基板が最低でも1枚取り付けられているが、その基板に詰め込まれた電子回路はすべて単純な動作を制御しているにすぎない。サーボシステムはディスクの正しい回転スピードを維持するものである。通常は、光センサが、スピンドル上の白いディスク面に付けられた黒点によるストロボスコープ用のパターンを感知しており、電子回路が一定時間内にセンサを通過する黒点数をかぞえて、ドライブの回転スピードを割り出し、必要に応じて速度を調節している。類似のセンサとして、光学式ではなく磁気を使用しているドライブもあるが、働きは基本的に同じで、一定時間内に通過する磁気パルス数を数えて、ドライブの速度を割り出している。

ヘッドの制御

ディスク面の半径線上のどの位置にヘッドを移動させるかを制御している電子回路もある。ヘッドを動かしているステッパモータは、電圧パルスに反応して、ステップを1回から数回繰り返すことにより、パルス数に相当する距離（角度）分ヘッドを移動させる（ここからステッパモータという名前がついている）。ホストコンピュータ内のフロッピーディスクコントローラカードから送られてくる信号によって、ディスク上のどのトラックへヘッドを移動させるかディスクドライブへ指示が出される。すると、ドライブの電子回路は、指定されたトラックへヘッドを移動させるために、適切な数のパルスをスッテピングモータに送る。

単純なフロッピーディスク機構では、ヘッドがディスク上のどの位置にあるかについてのフィードバックはない。アクチュエータがつくり出すステップ数によりヘッドは正しい位置に行くものと仮定しているにすぎないのである。ドライブとしてはヘッド位置を維持しようと最善を尽くしているのだから、ヘッドをしかるべき位置からずらしてしまうのは厳しい現実のみがなせる業である。たとえば、手を伸ばして、ヘッド機構を押してしまったりすることもあり得るだろう。あるいは、ヘッドが目的の位置へ向かう途中で、スイッチを切ってしまったりすることもあるだろう。電源を切ると、すべての回路が記憶を失い、ヘッドの位置は判らなくなってしまう。

注意すべき点は、現在売られている大半の倍密度フロッピーディスクドライブに装着されているステッパモータは、IBMのフロッピーディスクフォーマットが採用している40本のトラックをすべてトレースできるということである。かつてのコンピュータの中には、40本もトラックが必要ないものもあったため、これらのコンピュータ用のドライブ（ほとんどは信じられないような安値ですでに処分されてしまっているだろう）の中には、40本分のトラックをトレースできないものがあるのだ。

ヘッドインデクシング

ヘッドを確実に正しい位置に配置するために、ドライブは**インデクシング**と呼ばれる方法を用いている。まず、ドライブはできるだけディスクの端までヘッドを移動させる。ヘッドがこのインデックス位置まで到達すると、アクチュエータがどんなに強く動かそうとしても、ヘッドはそれ以上移動することはできない。ヘッドが確実にインデックス位置に停止するように、アクチュエータは十分なステップ数だけ（ディスクの幅よりも大きな数）ヘッドを移動させたことは、ドライブの電子回路によって確認される。ヘッドがインデックス位置に到達した後は、制御回路により、アクチュエータが決まったステップ数だけヘッドを動かすため、ヘッドがディスク面の半径線上のどの位置にあるか正確に把握できる。

超高密度ドライブ

超高密度の記憶メディアを扱うために、超高密度フロッピーディスクドライブには根本的な革新が必要だった。各面にもう1つヘッドを搭載しな

ければならなかったのである。超高密度のメディアは扱いが非常に難しいため、消去ヘッドが別に必要となる。追加されたヘッドは、読み書きヘッドと同じアクチュエータに取り付けられており、ヘッドと一緒にトラックからトラックへ移動する。データを書き込むときは、まず、消去ヘッドが磁束遷移を同一方向に揃えて書き込む領域を準備し、その後で、読み書きヘッドが磁気の向きを反転させてデータを書き込む。

DOSの条件

機能的には、フルハイトとハーフハイトの5.25インチドライブには違いはまったくない。ハーフハイトのドライブはDOSの2.0以前のバージョンでは使用してはならないという点を除けば、両者はどのソフトウェアでもまったく同じように動作する。小さなドライブ機構は速度が遅かったため、IBMはPCjrと同時に発表されたDOS 2.1ではソフトウェアタイマの時間定数を増やしている。

DOS 3.0以降の新しいバージョンになると、ハーフハイトドライブの規格を考慮に入れるだけでなく、高密度(1.2Mバイト)5.25インチドライブもサポートしている。したがって、1.2Mバイトのフロッピーディスクには DOS 3.0以降のバージョンを使用しなければならない。

3.5インチドライブを初めてサポートしたDOSバージョンはDOS 3.2だが、サポートしているのはPC Convertibleが使用している720Kバイトのドライブだけである。PS/2シリーズが使用している容量1.44Mバイトの高密度3.5インチドライブには、DOS 3.3(あるいはそれよりも新しいバージョン)もしくはOS/2が必要である。超高密度フロッピーディスクドライブになると、DOS 5.0以降のバージョンが必要である。

フロッピーディスクコントローラ

フロッピーディスクドライブを動作させるのは簡単に見えるが、実際には多くの制御レベルを駆使した複雑な操作である。アプリケーションプログラムを実行しているときにセーブ(退避)ボタンを押しても、ドライブには直接伝わらない。セーブが行われるまでには次のようなプロセスがある。まず、そのボタンを押したことがコンピュータのハードウェアにより感知され、BIOSがそれを認識する。続いて、BIOSが適切なキャラクタコードをアプリケーションプログラムに送ると、プログラムはDOSに対してディスクに何か書き込むように1つもしくは複数の要求をする。DOSは命令をBIOSに送り、BIOSはディスクコントローラのポートにコードを送る。最後に、そのコントローラがドライブに対して、ヘッドをどこに移動し、何を行うかを指示する。

このプロセスの中で終わりから2番目に位置するハードウェアが**フロッピーディスクコントローラ**である。これには、フロッピーディスクドライブを動作させるにあたって2つの役目がある。1つは、通常BIOSが作成して、コンピュータシステムから送られてくる論理コマンドを、ディスクドライブを制御する正確な信号に変換することである。もう1つの機能は、ヘッドが生成するパルスストリームを、コンピュータで処理可能な形式のデータに変換することである。

フロッピーディスクコントローラの働きを理解する一番よい方法は、フロッピーディスクドライブを制御する信号と、ドライブがホストコンピュータに送る信号とを調べてみることである。

ドライブA選択信号と**ドライブB選択**信号は、2台のドライブのいずれか(AまたはB)を選択するのに使用される(4台のドライブを搭載したシステムでは、2本目のケーブルのAの信号がドライブCを制御し、同じく2本目のケーブルのBの信号がドライブDを制御する)。割り当てられている信号が出力されていない場合、そのドライブは、ドライブモータを制御する回路を除き、すべての入出力回路を停止される。このようにして、2台のドライブは互いに干渉することなくコントローラケーブル内の何本かのワイヤを共有することができる。こうした制御方法では、2台のドライブのうち一度に動作できるのは一方だけということになるが、AドライブからB読み取ると同時にBドライブに書き込みを行うことは不可能である。このために、ディスクやファイルに保管されているデータは、いったんメモリに転送してからでないと、ほかのドライブにコピーできないのである。

各ドライブのスピンドルモータの入切には、ドライブ毎に1本ずつ信号線を使用している。これらのワイヤはそれぞれ**ドライブA選択**ラインと**ドライブB選択**ラインと呼ばれている。2つのモータを同時に回転させることもできるが、IBMが定めた規則では、これらのラインをアクティブにして、2台のドライブモータを同時に動作させてはならないことになっている（こうしておけば、使用できる電力量に非常に厳しい制約のあるコンピュータシステムでは、有効な電力の節約になるが、ドライブが1つしかないXTシステムでは無意味である）。もちろん、モータイネーブル信号が止まった後もほとんどのドライブは数秒間モータを動かし続けるため、コンピュータ内の2台のドライブは短期間であるが同時に動作することがある。ヘッド位置の制御は2つの信号で行っている。1つは**ステップパルス**信号で、ディスクの中心方向もしくは外周方向に1ステップ（1トラックに相当）ヘッドを移動するようにドライブのステッパモータに指示するものである。もう1つの**ディレクション**信号は、パルスによりヘッドを移動させる方向を制御している。この信号がアクティブのとき、ヘッドは中心に向かって移動する。

両面ディスクのどちらの面を読み取るかを通知するには、**サイドセレクト**という信号を使用する。この信号がアクティブのときは、ドライブは上側のヘッドを使用し、インアクティブのときは、自動的にデフォルトのヘッド（下側）を使用する。

ディスクの書き込みには2つの信号が必要である。**ライトデータ**信号には、磁気により実際にディスク上に書き込まれる情報が含まれている。この信号は、ディスクの磁束遷移に正確に対応したパルス列で構成されている。読み書きヘッドはこれらの信号を磁気によってそっくりそのまま繰り返すにすぎない。もう1つの信号の**ライトイネーブル**信号は、貴重なデータの上に間違って書き込んだりする可能性を防止する安全機構として使用される。この信号がアクティブでなければ、読み書きヘッドに書き込み電流は送られない。

データ信号の転送速度はディスクドライブの種類によって異なる。通常密度フロッピーは毎秒250Kビットでデータを送受信する。高密度ドライブは毎秒500Kビットの処理速度である。超高密度ドライブの場合は、毎秒1Mビットの処理速度となる。

コントローラはフロッピーディスクドライブから4つの信号を受け取る。

これらの信号のうち2つは、コントローラがヘッドの位置を確定するのに使用される。**トラック0**信号は、ヘッドがディスク面の一番外側にあるトラック上に来たことをコントローラに知らせるもので、これによって、コントローラはヘッド移動のパルス数をどこから数え始めればよいかがわかる。**インデックス**信号は、ドライブがディスクのトラック上の各ビットの位置決めをするのを助けている。ディスクが1回転すると、インデックスライン上でパルスが1つ生成される。コントローラはインデックス信号が与える基準値に基づき、次に続くデータパルスの間の距離を計測することができる。

ライトプロテクト信号は、ディスクにライトプロテクトタブがあるかないかを感知するセンサから発生する。タブがあればこの信号はアクティブとなる。

リードデータ信号には、ディスク上に連なった磁束遷移と正確に対応する電子パルス列が含まれている。データ転送速度は、ディスク書き込みが行われる速度と同じである。フロッピーディスクコントローラは、トラック番号とセクタ番号で表わされているBIOSからの要求やハードウェアに直接与えられる命令をパルスに転換して、ヘッドをディスク上の正しい位置に移動させなければならない。また、動作効率を最高にするために、コントローラはヘッドがどこにあるかを記憶しておき、必要に応じてヘッドの位置を割り出し、エラーが発生したときはそれを報告しなければならない。

フロッピーディスクコントローラは、データ変換を行う場合、ドライブから送られてきた不定形のパルスストリームの意味を判断しなければならない。まずインデックスパルスから各トラックの先頭を見つけ出し、次にデータストリームに埋め込まれた情報から各セクタを区分けするのである。要求されているセクタを見つけると、次にそのセクタに含まれている情報を読み取り、PCバスを通して転送できるようにその情報の形式をシリア

ルからパラレルに変換する。書き込みを行う場合には、コントローラは、まず書き込みをする正しいセクタを見つけ（これは読み取り動作である）、次に書き込み電流のスイッチを入れて、次のセクタが始まる前に正しいセクタにデータを入れなければならない。

コントローラがこなしている困難な仕事の大半は、たった1つの集積回路、すなわち、**「765 コンローラチップ」**により処理されている（現在のパーソナルコンピュータでは、765 チップの機能はチップセットの中に組み込まれていることが多い）。765 チップはマイクロプロセッサとよく似た働きをする。コンピュータの入出力ポートに接続されているレジスタから受け取るコマンドに基づき特定の動作を実行するのである。

765 チップはプログラムすることにより動作するため、765 チップと IBM フロッピーディスクコントローラは極めて汎用性が高い。フロッピーディスクドライブの基本的なパラメータの中で、コントローラのシリコンの中に埋めこまれているものはない。ディスク上のヘッド、トラック、セクタのそれぞれの数は、765 チップのレジスタにロードすることにより設定されるのである。通常、コンピュータを起動させると、IBM 用の標準値がコントローラにロードされる。したがって、普段はコンピュータを起動させた後、それらの値について気にする必要はない。

IBM 規格と異なるフロッピーディスクであっても、特別なソフトウェアがあれば、そのディスクを読み書きし、フォーマットできるようにコントローラを再プログラミングすることができる。この再プログラミングを行うソフトウェアには2つのタイプがある。コピー防止用のソフトウェアは、セクタにわざと不正常なセクタ番号をつけたり、セクタを余分に加えたり、そのほかこれらに似た操作で、通常の IBM パラメータでは再現ができない細工をすることにより、ドライブの核心であるパラメータを変更することがある。ディスクエミュレーション用のソフトウェアの場合は、コントローラのプログラムを変えることにより、フロッピーディスクドライブが、IBM 以外のコンピュータ（たとえば CP／M を採用しているコンピュータなど）が使用しているドライブと同じように動作するようにする。ただし、注意しなければならないのは、IBM システムには融通性があるとはいえ、Commodore や Apple のディスクなどすべてのディスクを扱うことができるわけではないということである。それらのコンピュータではディスクドライブを制御するのに、765 が真似できないようなまったく異なるコントローラを使用しているからである。

コントローラの集積化

IBM は明確に異なる3つのスタイルのフロッピーディスクコントローラを使用してきた。スタンドアローン型、組み合わせ型、集積型の3つである。最初の PC に使用されたオリジナルの設計ではスタンドアローン型のフロッピーディスクコントローラが採用されていたが、これは XT シリーズや Portable PC シリーズでも採用されている。PCjr では別のコントローラを使っているが、機能的にはこれと同一のものであった。AT シリーズおよび XT Model 286 のフロッピーディスクコントローラは、ハードディスクコントローラと組み合わされたものであった。そして、PS／2 モデルになると、すべてフロッピーディスクコントローラはシステムボードの回路に組み込まれるようになった。最近の PS／2 に使われている超高密度コントローラも同じく集積型である。IBM 互換機メーカーも同様にこれらのコントローラすべてを採用している。

フォーマットの互換性

IBM PC 系と PS／2 系のコンピュータ（およびこれらと完全に互換性のあるコンピュータ）は、理論的にはすべて標準的な両面倍密度フロッピーディスクをサポートできるはずである（PS／2 の場合、通常密度の 5.25 インチフロッピーディスクドライブを動作させることができるが、この機種に適合するドライブを見つけるのは難しい）。このように、通常密度のフロッピーのみがパーソナルコンピュータ製品全体に真に共通している記憶システムであり、そのメディアはすべて1つのフォーマットに統一され、最も幅広い互換性を持っている。

データ容量が1.2Mバイトの高密度5.25インチドライブをサポートしているIBMコンピュータは、AT以降の機種（XT Model 286を含む）のみである。それ以前の機種（PC、XT、Portable PC、PCjr）のBIOSでは、AT以降の機種のドライブが使用しているトラック本数が最大のディスクは取り扱うことができない。同様に、3.5インチドライブは、Convertibleを除き、PS／2より古い機種ではサポートされていない。Convertibleの場合、その最初のバージョンでは720Kバイトのドライブしか取り扱えなかった。

この原因は主として各システムのBIOSにある。BIOSには765チップを様々な種類のフロッピーディスクに対応させるための手順が書き込まれている。したがって、BIOSの中に3.5インチドライブを動作させるのに必要な手順が用意されていなければ、そのBIOSが搭載されたシステムに3.5インチドライブを接続しても、正しく動作することは望めない。

自分のコンピュータが特定の種類のフロッピーディスクと互換性があるかどうかを確認するのは、使用説明書をチェックする程度の簡単なこともあるが、試行錯誤の実験のように難しいこともある。最初にチェックするのは、コンピュータが製造された日付である。IBM ATが発表されたのは1984年8月だが、高密度5.25インチドライブは最初のPC／ATの発表前には導入されていなかったため、AT以前に設計されたコンピュータなら、恐らく倍密度（360Kバイト）5.25インチフロッピーディスクドライブしか認識しない。また、IBMがラップトップコンピュータPC Convertibleを発表するよりも前に設計されたシステムは、倍密度3.5インチドライブを使用していないだろう。なぜなら、IBMはその機種と一緒に720Kバイトのフォーマットを導入しているからである。IBMが高密度3.5インチドライブを使い始めたのは、1987年にPS／2シリーズを発表したときだが、それ以前に、2、3のメーカーはすでにこのフォーマットが使われるようになるだろうと予期していた。

自分のシステムがいつ設計されたか、またはいつ発売されたかわからなくても、運に見放されているわけではない。コンピュータのセットアップ処理をやってみればよいのだ。この場合、コンピュータが起動したときにセットアップをキーボードで選んで行ってもいいし、コンピュータを購入したときについてくるセットアッププログラムのディスクで行ってもよい。いずれにしても、セットアップする際にフロッピーディスクドライブに関してどのようなオプションがあるかを調べてれば、どのようなフォーマットをサポートしているかわかる。

ATが発表になって以降、ほとんどのコンピュータが使用しているセットアッププログラムには、ドライブAおよびBとしてインストールするフロッピーディスクドライブの型式を選べる選択肢が用意されている。したがって、この場合は自分がインストールするドライブを選択肢の中から選べばよい。インストールしたいフロッピーディスクドライブの型式が選択肢にあれば、何の問題もない。簡単で機械的な取り付け作業を行うだけで、フロッピーディスクがアップグレードされ、自分のパーソナルコンピュータで動くようになる。

セットアッププログラムがないコンピュータは、恐らくAT以前の古いタイプの設計である。したがって、そのシステムは、倍密度5.25インチフロッピーディスクドライブしか認識しないと思ってまず間違いない。

ラップトップコンピュータではまったく状況は異なる。ラップトップコンピュータメーカーの大半は、ディスクに互換性がないのは問題であることを認識しており、外部の5.25インチフロッピーディスクドライブが自社の製品に接続できるように、何らかの手段を講じている。ラップトップコンピュータにはフロッピーディスク専用のポートがあり、アドオンドライブはほとんどそこに接続される。なお、このようなメーカーは、増設用のフロッピーディスクドライブとして、自社製品を提供している（概して高価）。

自分のコンピュータがある特定のタイプのフロッピーディスクドライブをサポートしていないということは、必ずしも、様々なフロッピーディスクドライブを接続して使用するチャンスが永久にないということではない。ほんの2、3の手順でコンピュータに種類の違うドライブの扱い方を教えることができるのだ。

それにはまず、3つある中から1つの方法を選ばなければならない。1つはドライバソフトを追加すること、もう1つはフロッピーディスクコントローラをフロッピーディスクドライブと一緒にアップグレードすること、そしてもう1つは、BIOSを変更することである。最初の方法が最も一般的で、一番費用がかからず、コンピュータの電子回路の秘密に触れなくてすむ方法である。しかし、同時に最も制約の多い方法でもある。

ドライバソフトは、システム内のBIOSに含まれているコードに、新しいタイプのフロッピーディスクドライブを取り扱う特別の命令を追加するものであるが、ほかの装置のドライバと同様、このドライバも各自のシステムのCONFIG.SYSファイルからロードされる。

これがドライバソフトを使用する上でのまず最初の制約である。システムが起動してからでないと、ドライバを読み取ることができないため、ドライバソフトはブートフロッピーを挿入するドライブAについては解決策とはならないのである。これは、にわとりが先か卵が先かといった話と同じで、システムは最初にドライバを読み取らなければならないため、フロッピーからは起動できないが、ドライバを読み取るためには、まずシステムを起動させなければならないのである。

さらに、DOSがコンピュータの制御権を受け取ってからドライバがロードされるため、ドライバソフトは各オペレーティングシステムに専用のものである。つまり、OS/2やUnixに必要なドライバとDOSに必要なドライバは異なるのだ。しかし、多くの場合、DOS以外のオペレーティングシステム用のドライバソフトは手に入れることはできないと思われる。したがって、新しいオペレーティングシステムに切り換える予定の人には、このドライバを追加する方法は向かない。

ディスクユーティリティやバックアッププログラムなど一部のソフトウェアには、ソフトウェアドライバを無視して、フロッピーディスクドライブを直接ハードウェア制御するものがある。このようなアプリケーションプログラムは、ソフトウェアドライバを使用しているフロッピーディスクドライブでは恐らく動作しない。さらに悪いことには、こうしたソフトウェアがなんとか動こうとして、フロッピーディスクドライブを回転させ、目茶苦茶なオペレーションに陥ってしまう場合がある。こうなると、ドライブに装着したフロッピーディスクのデータが破壊されてしまうことがある。

また、ソフトウェアドライバはつまらないいらいらも引き起こす。システム内のほかのディスクドライブがすべてBIOSにより初期化されてから、DOSがドライバを起動させるため、最後にBIOSにより初期化されたドライブよりも下に、これらのドライブのレター識別子が設定されてしまうのだ。したがって、新しくドライバにより動作するフロッピーは、恐らくドライブBではなくドライブDとして認識されてしまうことになる。要するに、ソフトウェアドライバは、異なるフロッピーディスクドライブをパーソナルコンピュータに適合させる方法としては、技術的には最も望ましくない方法ということだ。残念ながら、これが広く行われている方法としては唯一のものであり、特定のパーソナルコンピュータでは唯一可能な方法であることもある。技術的な面から離れて考えれば、この方法は最も費用がかからないという利点もある。

多くのフロッピーディスクキットには、システムをアップグレードするために必要になる場合に備えて、ソフトウェアドライバが入っている。注意すべき点は、このドライバは、DOSの最近のバージョンに付いているDRIVER.SYSプログラムと一緒に使用することである。フロッピーディスクドライブに付いているドライバは、フロッピーディスクドライブをどのように動作させるかをパーソナルコンピュータに指示し、一方、DRIVER.SYSは、その新しいフロッピーディスクドライブをどのように認識するかをシステムに指示するものである。

フロッピーディスクコントローラを変えることで、タイプの異なるディスクドライブを適合させることができるコンピュータも多くある。最近のフロッピーディスクコントローラになると、システムの現在のBIOSに必要なプログラムを追加して、標準的なフロッピーディスクドライブであればどのような種類ものもでの制御できるようにす

る、アドオンBIOSが付属されているものも多い(全部というにはまだ程遠いが)。ただし、アドオンBIOSのサポートが付いた新しいフロッピーディスクコントローラをコンピュータに追加する場合には、注意する必要がある。旧式のコントローラや、最近のコントローラで価格が最も安いものには、必要なBIOSコードが組み込まれていないのだ。

必要なBIOSを確実に入手するには、コントローラを購入するときに、それにBIOSが付属されているかどうか確認する必要がある。さらに、新しいフロッピーディスクコントローラを購入するときには、それがあれば自分のコンピュータでどのタイプのフロッピーディスクドライブが使用できるようになるのか確認すればなおよしである。

フロッピーディスクコントローラがシステムボードに組み込まれているコンピュータの場合、新しいコントローラカードを装着する前に、システムボードのフロッピーディスク制御回路を無効にする必要がある。無効にできなければ、新しいコントローラは搭載できない。また、マイクロチャネル仕様のフロッピーコントローラカードを見つけるのは事実上不可能なので、マイクロチャネルPS/2の場合はコントローラによるアップグレードの方法を採ることはできない。

フロッピーの非互換性の問題を解決する方法として最も満足できるのは、自分のコンピュータに新しいBIOSを追加して、必要なフロッピーディスクの命令をすべてコンピュータに組み込んでしまう方法である。この変更を加えるには、コンピュータのシステムボードからLSIチップを2個(または4個)取り出して、新しいものと取り替える必要があるが、この作業に要する時間は(PCのケースを開けた後)わずか2、3分といったところである。

この作業で最も難しいのは、コンピュータに適合するBIOSのアップグレードプログラムを見つけることである。BIOSメーカーは数社あるが、いずれもチップの販売はコンピュータメーカーに対して行っており、通常、個人のエンドユーザに販売することはない。

さらに、BIOSのアップグレードプログラムが、自分の持っているコンピュータの製造元から入手したものではない場合、それが実際にコンピュータに適合して動作するという保証はまったくない。通常、BIOSは個人が簡単に入手できる仕組みにはなっていないのだ。せいぜいできることといえば、コンピュータを購入した販売店にあたって、そのコンピュータの製造元がBIOSのアップグレードプログラムを提供してくれるかどうかを尋ねてみることぐらいである。アップグレードプログラムがもし入手できるというのであれば、その販売店こそが最高の(そして唯一の)供給元である。

20.3 ドライブとケーブルの構成

IBMのフロッピーシステムはフロッピーディスクシステム全体の標準である。IBMのフロッピーシステムは、フロッピーディスクドライブを取り付ける際に、使用者があれこれ考えなくてもいいように設計されている。これは、メーカーが組み立て過程のことを考えた結果であることがわかる。ユーザーは簡単なルールを2つ3つ理解してしまえば、組み立て工と同様に、いやもっと上手にフロッピーディスク取り付けの作業をやってのけることも可能なのだ。

ドライブ選択ジャンパスイッチ

フロッピーディスクのサブシステムに使われているケーブルは、それに接続するドライブがドライブAになるのかドライブBになるのかを、ドライブ自身があらかじめ知っているということが前提になっている。しかし、互換性の理由からフロッピーディスクドライブは識別子が違っても共通の設計でまったく同じものとして製造されている。代わりに、フロッピーディスクドライブが、自分をAドライブもしくはBドライブとして認

識できるように、ドライブメーカーはドライブにDIPスイッチまたはジャンパスイッチを取り付けている。このスイッチはドライブ選択ジャンパスイッチと呼ばれ、これを設定すれば、フロッピーディスクドライブをAからDまでの4つのドライブのいずれか1つにすることができる。

ドライブ選択ジャンパスイッチは、基本的にはケーブルの配線の一部を切り換えるものであるが、この機能に関する理由から、ケーブルを接続するエッジコネクタに近いドライブの上部に付けられているのが一般的である。通常この部分にはほかにもジャンパスイッチが並んでおり、それぞれに2、3個の文字と数字を組み合わせた、あまり意味のなさそうな記号のラベルが周辺に貼られているはずだ。その中で、ドライブ選択ジャンパスイッチには、（ラベルが付いていれば）先頭にDSという2文字の記号が付いているので、それと見分けることができる。ここからは先はディスクドライブメーカーにより2通りに分かれる。ドライブ選択設定の幅を1台から最高4台までとしているメーカーと、1台から最高3台までとしているメーカーがある。

ドライブ選択の設定

IBMの仕様では、これらの設定のどれがドライブAでどれがドライブBに（さらにドライブCやDに）該当するのかといった問題は発生しない。IBMスタイルのコンピュータのフロッピーディスクドライブはすべてシステム内の2番目のドライブとして設定される。そして、フロッピーディスクの接続ケーブルに特別な〝ねじり〟を加えることで、ディスクドライブの選択を行っているのである。

IBMスタイルのシステムにフロッピーディスクを取り付けたら、自動的にそのドライブは2番目のドライブとして設定すればよく、AになるかBになるかに注意を払う必要はない。ドライブ選択ジャンパスイッチに0から始まる番号がついているドライブの場合は、フロッピーディスクドライブは1として設定すればよい。同様に、ドライブ設定ジャンパスイッチの数字が1から始まるドライブの場合は、2に設定すればよい。

ドライブのケーブル

ドライブの選択を行うケーブルの特別なねじりは、次のようになっている。片側のコネクタに接続される手前で、フロッピーディスクケーブル内の5本のワイヤをねじる。このねじりによって、ドライブ選択とモータ制御の信号が逆になり、また数本の接地線も配列が変わる（そうすることで、うまいぐあいに変更が生じないようにしている）。

ドライブはそもそも第2ドライブとしてセットアップされているが、この逆転の結果、ねじりを与えたケーブルに接続されたドライブが第1ドライブ、すなわち、ドライブAとなる。いいかえると、ねじりを加えた側の端にあるコネクタに接続されたドライブがAドライブになる。これに対し、ドライブBはケーブルの中程にあるコネクタに接続される。そして、ねじりを加えていない側の端にある3つ目のコネクタは、フロッピーディスクコントローラと接続される。

1台のフロッピードライブとストレートスルーケーブル

ハードディスクドライブの場合、ストレートスルーケーブル、すなわち、ねじりのないケーブルを使い、接続されたハードディスクドライブのドライブ選択ジャンパスイッチを第1ドライブに切り換えることにより、1台のディスクドライブを動作させることができる。フロッピーディスクドライブに対しては、この手は使えない。ケーブルのねじった部分がドライブ選択信号だけでなく、モータ制御信号も移動させているからである。このため、1台のフロッピードライブにはストレートスルーケーブルは使えないわけだ。

1台のドライブを扱うことができるフロッピーディスクケーブルを自分で作る場合は、IBMのドライブ選択の方式を遵守しなければならない。そして、図20-4に示した方法でケーブルにねじりを加えなければならない。

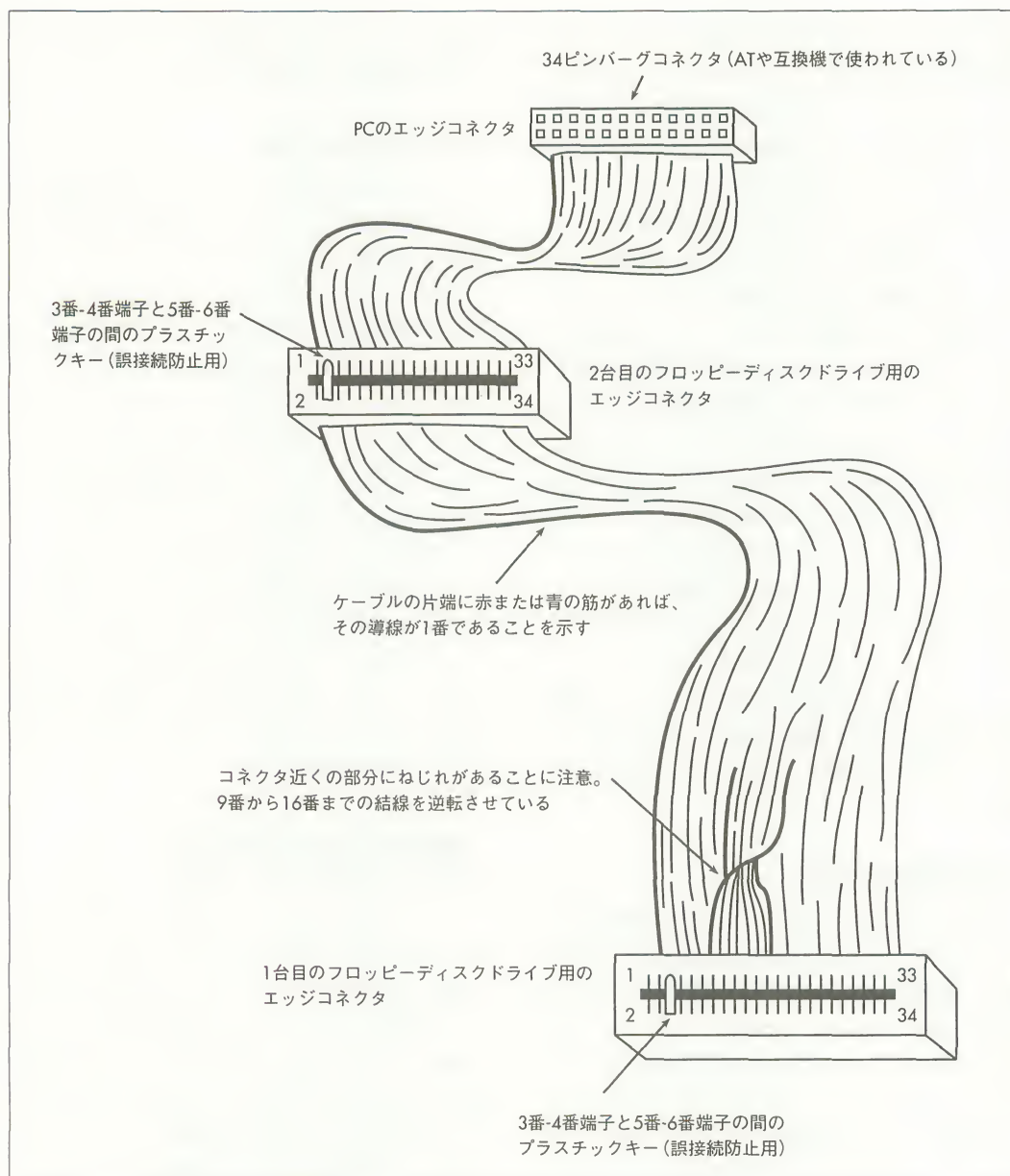



図20-4　2ドライブフロッピーディスクケーブル

20.4　ターミネータ抵抗ネットワーク

IBM が最初に開発し、互換機メーカーが採用しているフロッピーディスクシステムでは、ドライブ A と B の物理的な違いはたった 1 つしかなかった。ドライブ A には常にターミネータ抵抗ネットワークが取り付けられているのに対し、ドライブ B にはないということである。フロッピーディスクドライブが 3 台または 4 台搭載されているシステムの場合、ドライブ C にはターミネータ抵抗が付いているが、ドライブ D には付いていない。

この規則は簡単でありながら実際は紛らわしくて、大半の人々がうまく対処できないことが判明したため、最近のフロッピーディスクドライブには取り外しのできないターミネータ抵抗パックが取り付けられていることが多い。

目的

ターミネータ抵抗は、フロッピーディスクコントローラとドライブの電子回路とをつなぐ結線を流れる過電流を吸収するために使用される。特定の電流だけがターミネータを流れるように設計されている。ターミネータ抵抗ネットワークは、過電流がシステム内に残らないように、適切な量の電流を強制的に流す役割を果たしている。ターミネータ抵抗がなければ、フロッピーディスクドライブに向かう信号がうまく整合されず、減衰するまで回路の中を行ったり来たりして、誤動作を引き起こしたりすることがある。ターミネータ抵抗は過電流を吸収することで、そうした誤動作が生じるのを防いでいる。

ターミネータ抵抗が 2 つあると（たとえば、システム内に 2 台のディスクドライブがあり、その両方にネットワーク抵抗が取り付けられている場合など）、流れる電流が大きくなり過ぎて、回路自身の寿命を縮めてしまうことがある。ターミネータ抵抗ネットワークは必ず、ケーブルと物理的に最後に接続されているドライブに取り付けられていなければならない。そこが、信号反射が生じる箇所だからである。

取り外しのできるターミネータ抵抗は一般に 2.2k Ω（1 Ω が電気抵抗の基礎単位で、1k Ω は 1000 Ω）が定格である。一方、取り外しのできないターミネータ抵抗の公称定格は 1k Ω である。したがって、取り外しのできないターミネータ抵抗が付いた 2 台のドライブは、正しく終端したシステムと大体同じ抵抗値となる。取り外しのできない抵抗が付いたドライブ 1 台が単独で、または 2.2k Ω のターミネータ抵抗パックが付いたドライブと一緒にパーソナルコンピュータに取り付けられている場合、厳格な規則を破ることによる不整合は本来の半分だけとなる。これは実際にはほとんど問題はないといっていい。取り外しのできるターミネータ抵抗が装着されたドライブであれば、規則を遵守した方がよい。そうしないと、ターミネータ抵抗の抵抗値が高くなりすぎたり、低くなりすぎる。

ターミネータ抵抗の識別

ターミネータ抵抗を見分けるのは非常に簡単である。その形状は通常 2 通りで、1 つはシングルインラインパッケージのもの、そして、これよりも多いのが、普通の IC に似ているデュアルインラインパッケージのものである（IC とは違って、青やアンバや、光沢のあるものがある）。シングルインラインパッケージは小さな長方形のブロックに似ていて、長さが約 1 インチ、横幅が 1/8 インチ、高さが 1/2 インチある。1/10 インチの間隔で 9 本のリードがパッケージの下から出ており、ソケットへ接続されているか、またはフロッピーディスクドライブの電子回路のプリント基板へ直接接続されている。取り外しのできないターミネータ抵抗は大抵シングルインラインタイプである。

現在のほとんどのフロッピーディスクドライブでは、ターミネータ抵抗だけが回路基板上でソケットに取り付けられているので目立つ。一般的なターミネータ抵抗を図 20-5 に示した。

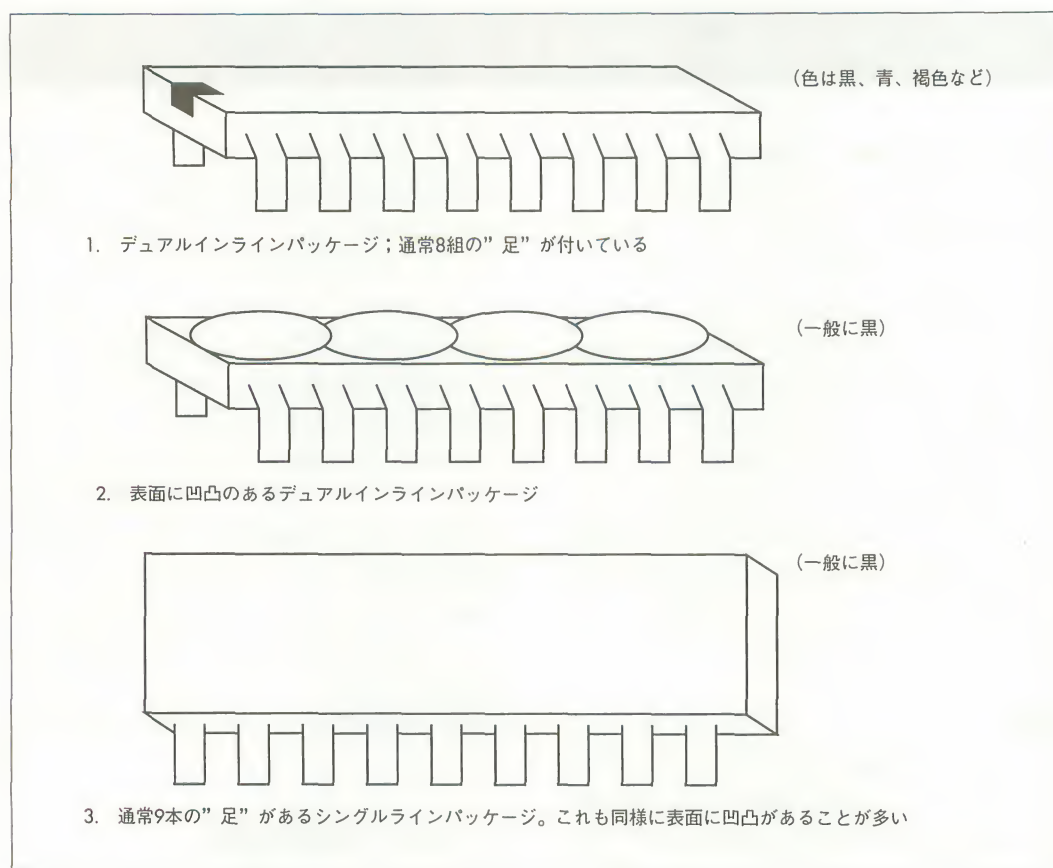



図20-5　ターミネータ抵抗

設置場所

ほとんどのフロッピーディスクドライブでは、ターミネータ抵抗ネットワークはドライブを差し込むエッジコネクタ近くに付いている。ネットワーク抵抗は搭載された約半数のドライブからは取り外さなければならないため、取り外しやすいように、ドライブの電子回路をのせたプリント基板の後端近くにあるのが一般的である。普通は、ドライブ選択ジャンパスイッチの近く、もしくは隣にある。

取り外し

取り外しのできるターミネータ抵抗が付いたフロッピーディスクドライブをドライブＢかＤにするときは、大抵はその抵抗を引き抜くだけでよい。シングルインラインパッケージのネットワークはソケットから強く引き抜くだけで取り外しができるはずである。デュアルインラインパッケージのネットワーク抵抗の場合は、チッププラー（チップを引き抜く道具）か、小さいドライバなどを使う必要があるだろう。

20.5　ディスクの管理

フロッピーディスクの管理に関するルールはすべて、損傷を防止するということが基本になっている。フロッピーの機能を損なう要因には2種類ある。物理的な力と磁気である。

フロッピーの敵、磁気

この2つで油断がならないのは磁気である。フロッピーディスクに記憶させたデータが目には見えない磁界によって変化したり、消えてしまうことがある。たとえば、ディスクのFAT（ファイルアロケーションテーブル）が損傷すると、データの書き込みはできても、恐らくそのディスクの情報を回復させることは二度とできないだろう。

オフィスには損傷の原因となる磁気の発生源がたくさんある。たとえば、旧式の電話器の内部には呼鈴装置があるが（ベル電話器はその内部にベルがあり、そのベルが実際に鳴っている）、この呼鈴装置は強力な電磁石で動いている。したがって、電話が鳴るたびに磁界が作り出されるため、電話器の近くや下にディスクがあれば、中身が消えてしまうことがあり得る。しかし、この場合の磁界はそれほど強力ではないので、ディスクを電話器から10cm程度も離しておけば問題ない。

そのほかディスクを損傷する可能性がある機器には、磁化した鋏、上部に円形の磁石が付いたあの小さいがすぐれもののペーパーホルダー、それに、重役の机でときどき目にするモータ付のおもちゃさえも含まれる。モニタですら、その電源や消磁コイルから磁界を発しているものがある。

物理的な危険

物理的なダメージとしては、フロッピーディスクの表面や基材を変化させる恐れのあるものすべてが含まれる。ほこりの膜であれ、油気のある指紋であれ、物理的なかすり傷であれ、変質を来すものはすべて、ディスクの正常な動作の障害となる。

ディスクのラベルにボールペンで書き込むことは、ディスクにかすり傷を生じさせる問題としてよく引き合いに出される。ヘッドがディスク表面の読み取りを行うとき、かすり傷があるとディスク表面とヘッドの接触に、ごくわずかでかつ一時的であるが、ブランクが生じる。このため、本来はそのときに読み取られるはずのデータが失われるため、ディスクエラーが発生してしまう。保護用のジャケットに入れてあっても、ディスクを折り曲げたり、傷つけたりすれば、同じ問題が生じる。

ほこりや指紋は累積するにつれ、ゆっくりと損傷を与えていく。ほこりと指紋が組み合わされて、滑りを悪くし、ディスクやディスクドライブ機構を摩耗させてしまうのだ。ラベルがしっかりと貼られていなかったり、しっかりとはめ込まれていないライトプロテクトタブがはずれたりすると、これもまたディスクやディスクドライブ機構を損傷する原因となりうる。

ディスクの管理に関するアドバイス

ディスクに問題が生じるのを防ぐには、ディスクを正しく管理するのが最善の方法である。まず、使用していないときは、必ず保護用のケースやカバーに入れておく。使用後は、ディスクをドライブから取り出してから、コンピュータの電源を切る。IBMコンピュータの場合は電源を切るときにディスクを装着していても損傷する危険はほとんどないが、マシン内に入れたままにしておくと、ディスク面に損傷の原因となりうるほこりがたまることがある。しかし、カバーやケースに入れておけば、この可能性はかなり少くなる。

ディスクをディスクファイルキャビネットに整理しておくこと。こうしたキャビネットはほとんどプラスチック製なため、磁気を遮蔽することはできないが、磁気発生源から十分離れた場所に置いておけば、そこにディスクを入れることで自動的に安全圏に置いたことになり、磁気による損傷が最低限に抑えられる。また、ファイルキャビネットに入れておけば、整理しておける以外にも、外からの物理的な力からディスクを守ることができ

る。ただし、間違っても磁化した鋏をディスクと一緒にキャビネット内に入れたりしてはいけない。

5.25インチフロッピーの過激な復旧法

5.25インチフロッピーディスクのプラスチック製の保護用ジャケット（一般に黒色）で、データに損害をもたらす災難のほとんどは回避できる。しかし、ときにはメディアを保護する代わりに、トラブルの原因になることもある。たとえば、地元高校のクロスカントリーチームがスパイクシューズを履いた足で踏みつけるなど、フロッピーディスクにひどい力が加えられた場合、ディスクからデータを読み取りたいと思っても、ジャケットに加えられた損傷がその前に立ちはだかる障害となり得るのである。つまり、このとき、中のディスク自体はなんとか無事にすんでも、ジャケットが折れ曲がってしまっていて、ドライブスロットに入らなかったり、ディスクがドライブ内部で回転しなくなったりするのである。しかし、このようなディスクでもまだすべてが失われたわけではない。

過激な外科手術によって、ディスクに残存している内容を再び目にするチャンスが与えられる。一度その死に直面したディスクでも、過激な復旧法を用いることで、データを救える可能性があるのだ（3.5インチフロッピーの場合は、ジャケットが強いので、5.25インチフロッピーのように、過激な復旧法を行わなければならない程の問題はまず起こらないだろう）。

過激な復旧とは、ディスクをジャケットから切り離して、最後にもう1回だけディスクドライブで回転させるのである。ディスクをジャケットから取り出すには、ジャケットの音波接合部を壊すか（口で言うよりはかなり難しい）、鋏やペーパーカッタを使ってジャケットの一辺を薄く切り落とせばよい。

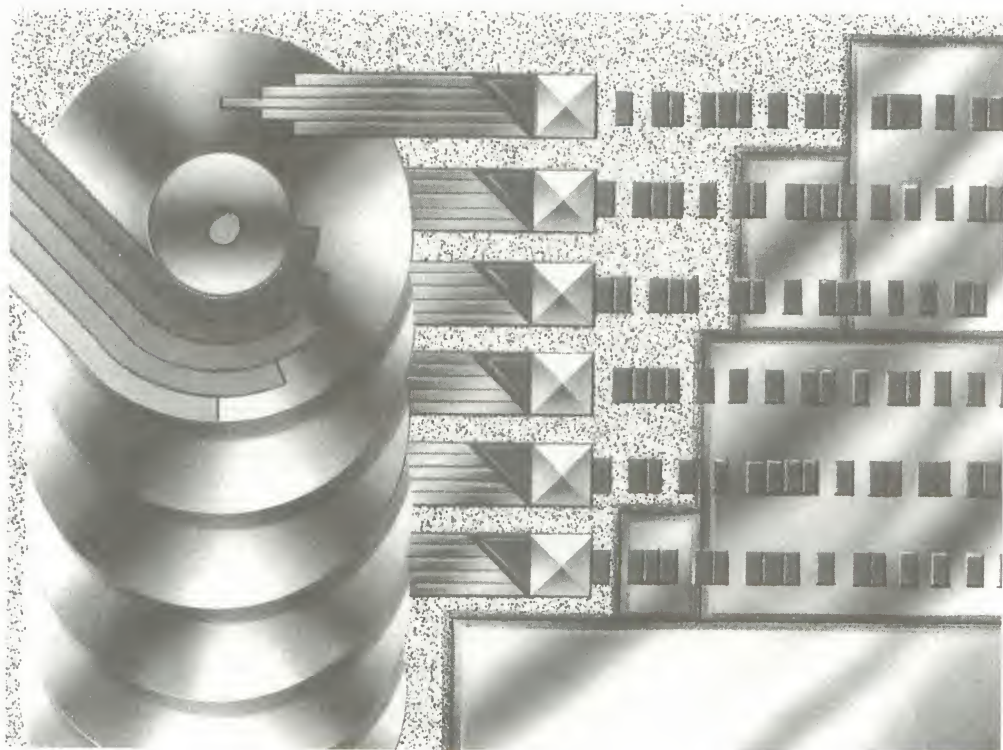
ジャケットを開けた後、できるだけ表面に触れないようにしながら、慎重にディスクを取り出す。ディスクドライブはほとんど、そっと挿入すればこの裸のディスクを直接そのスロットに入れることができる。ヘッドを下げて、ハブが傷つきやすいディスクの中央の穴とかみ合うように、レバーを操作する際には、細心の注意を払うこと。

フロッピーディスクドライブの中には、ジャケットに入ったディスクでなければヘッドが下がらない、ヘッド衝突防止ロック付きのものがある。自分のドライブがこのタイプのものであれば、もう1枚別のディスクを犠牲にしなければならない。新しいディスクの横を薄く切って開け、中のディスクを引き出し、代わりに問題のディスクを入れるのだ。

こうして、損傷したフロッピーをディスクドライブに挿入し、その内容を新しいディスクにコピーする。入れ直したディスクを数回回転させることができれば、そのディスクに記憶していた情報を回復する見込みは、間違いなくあるとはいえないまでも、十分ある。

保証付きのディスクのなかには、無料でデータ回復サービスを提供している会社もある（Polaroidが有名）。使用しているディスクにこのような保証が付いている場合は、自分で過激な復旧法を行ってはならない。保証が無効となってしまうからである。代わりに、ディスクメーカーにデータを復元してもらえばよい。ディスクメーカーの方がデータを復元できる見込みも大きいし、しかも、心痛や頭痛にさほど苦しまなくてもすむ。

第21章

ハードディスク

大部分のパーソナルコンピュータでは、ハードディスクが最も主要な大容量記憶装置となっている。システム本体へ短い時間で転送される必要のあるプログラムやデータファイルはすべて、ハードディスクに保存される。ハードディスクは、使用されている技術、インターフェイス、速度、容量の違いで様々なものがあるが、これらの要素の間には相互に密接な関係がある。

ハードディスクの搭載されていないパーソナルコンピュータは、この業界ではすでに用なしの老いぼれである。長い間覚えていられる記憶といえば、フロッピーディスクからロードされる"短い回想シーン"だけである（その上思い出すには手間も時間もかかる）。このようなパーソナルコンピュータの場合、あとはフロッピーディスクが使えなくなるまで最後の面倒を見てやることしかユーザーには残されていない。ハードディスクのないパーソナルコンピュータを使うということは、ユーザー自らも一緒に老いぼれてしまうことである。

ハードディスクは今日のパーソナルコンピュータ用の記憶装置としては最高の装置である。ほかの周辺装置と比較しても、速度や容量、ユーザーによる簡単なインストール方法などの点で、ハードディスクに匹敵するものはない。実際、今日のハードディスクが存在しなければ、パーソナルコンピュータユーザーは高速な32ビットや64ビットのマイクロプロセッサを使うことさえできない。高速なチップが真価を発揮できるほど十分なデータをシステム内に保存することは不可能である。

ハードディスクに保存された大量のプログラムやデータは、常に瞬時でアクセスできるようになっている。ハードディスクがあれば、フロッピーディスクでかかった時間の何分の1という時間でプログラムがロードでき、毎日の仕事をスピードアップすることができるのだ。非常に高速にデータが記憶されたりソートされたりするため、プログラムの多くは処理速度が上がっているように感じられる。また、コンピュータシステムのほかの機能まで反応がよくなったようにさえ感じられることだろう。

ハードディスクは何Mバイト、何百Mバイトという量の情報を扱っている。1秒間に、物理の教科書や小説1冊分の内容と同じくらいの情報を、ハードディスクは記憶したり取り出したりできなければならない。また、システムを最新の状態に保つために、元の記憶内容を捨て去り、新しい内容に置き換えることもできなければならない。特に、トランプのケースほどの大きさしかなく、電灯よりも電力を消費しないこの装置にとって、この作業は大きな挑戦である。

パーソナルコンピュータが生まれてから最初の10年間で、ハードディスクは高価な贅沢品からごく普通の必需品となるまでに発展を遂げた。実際、パーソナルコンピュータの改良が、ハードディスクに対する認識を高めていったのである。最初のPCはハードディスクが搭載できるようにはなっていなかった。その後、XTで初めてハードディスクの能力がパーソナルコンピュータで利用できるようになり、続いて、ATではハードディスクの性能に重点が置かれた。そして、マイクロチャネルPS／2になってハードディスクは標準装備となるに至った（このときまで自尊心の高いパーソナルコンピュータは、ハードディスクドライブを必要としなかったのだ）。WindowsやOS／2が使われる現在、100Mバイト程度のハードディスクは必須である。

ハードディスクは、それがどれだけ必要とされているかによって、高いものにも安いものにもなりうる。ハードディスクには様々な大きさや速度定格のものがある。広告の中に、10年も前の製品なのに自分のマシンに接続できるハードディスクを見つけると、儲けモノをした気分になるかもしれないが、その古びた技術は、待てども持てども現代のマイクロプロセッサの速度には追い付くことはできない。実際、今日のハードディスクを5年前のものと比べても、ほとんど共通するところはなくなっている。今日のハードディスクは昔のものより小型で、反応が速く、数倍の容量を持ち、寿命や信頼性も数倍になっている。それらは初期のものと同じ方法でパーソナルコンピュータに接続することはできない。適切なハードディスクを見つけるには、ドライブの中がどうなっているのか、メカニズムや技術はどのように異なっているのか、そして新しいパーソナルコンピュータと最も適合するのはどれか、よく調べる必要がある。

21.1　名称の付け方

何かについて議論をする場合、その対象となっているものに名前を付けることから始めなければならない。**ハードディスク**という名前は単純だが、これと同様によく知られた大容量記憶装置であるフロッピーディスクときちんと区別がつく。フロッピーディスクが柔軟性のある板を磁気メディアとして使っているのに対し、ハードディスクでは鋼体の、**プラッタ**と呼ばれる固い基材(もちろん円盤(ディスク)の形をしている)が使われている。ハードディスクという名前は説明的な名前だが、どこででも普遍的に使われているわけではない。ほかにもいくつかの呼び方があり、適切な名前もあれば、そうでないものもある。

IBMの例をあげれば、ハードディスクの代わりに**固定ディスク**という用語が好んで使われている。この固定ディスクという名前は、フロッピーディスクがドライブから取り出せるのに対し、ハードディスクはプラッタがハードディスクの中に固定されているところから付いたものである。もちろん、ハードディスクの中にはメディアが取り出せるものも出てきており、この場合は固定という言葉があてはまらないということになる。

ウィンチェスターディスクドライブ

ハードディスクの別の呼び方として最もよく聞かれるものが、ウィンチェスターディスクドライブであろう。よく知っている人からはウィンチェスターと略して呼ばれることも多い。実際には、今日あるハードディスクの中でウィンチェスターという製品名を付ける権利を持った製品はほとんどない。

ウィンチェスターという名前は、ハードディスクの読み書きヘッドに使われる基本的な技術と関係がある。ウィンチェスターディスクドライブの読み書きヘッドは、非常に小さなエアフォイルと呼ばれる飛行機の翼のようなものに取り付けられており、ディスクの表面から数マイクロインチ(1インチの数百分の1)上に浮かんで読み書き動作を行う。ただし、気流の揚力を得て空中を飛ぶ飛行機の翼とは異なり、ディスクでは気流がないため、このままでは読み書きヘッドは浮かばない。ハードディスクでは、ドライブのディスクの回転が空気の流れを発生させ、その空気の流れでヘッドを持ち上げているのである。この設計の利点は、少なくともディスクが回転している間はヘッドがディスクに接触しないため、ディスク表面の摩耗や劣化がないということである。ただし、接触していないとはいえ、読み書きヘッドとメディアの磁界は非常に近く(最近のドライブでは6～12マイクロインチ程度)、離れすぎることはない。

〝ウィンチェスター〟という名前がこの技術とどう関係あるのかという話は、今日ではコンピュータの〝民俗学〟の一部になっている。この技術を用いた最初のドライブは、IBMのハースレー研究所で開発されたが、その研究所は英国のウィンチェスターの近くにあった。しかし、この地名がそのままウィンチェスターディスクドライブの名前に使われたというわけではなく、地名と名称との間には何の関係もない。IBMの最初のドライブは両面記録式で、その両側が30Mバイトずつデータを記録できたため、その技術は〝3030〟というコードネームで呼ばれていた。これに対し、人によっては、この呼び名で、西部との戦いで勝利をおさめたことで語り草になっている有名な〝ウィンチェスター3030連発銃〟を連想することがある。ここからウィンチェスターという名前が、3030という番号を持つハードディスクに使用されるようになったようである。この呼称はハードディスクだけでなく、同じドライブ形式を基礎としたフライングヘッド技術においても、一般的に用いられるようになった。

現在、ウィットニーと呼ばれるヘッドに関する新しい技術によって、はるかに小型で、高速で、しかも丈夫な製品が可能になったため、ウィンチェスターに使われていたヘッドの設計法よりも、この技術を用いる製品が多くなってきた。将来のハー

ドディスクでは、このように、フライングヘッドではなく、粘性のある液体の中をヘッドが泳ぐようなものに変わるかもしれないが、ウィンチェスターという呼び名は、ハードディスク全般に共通する名前として使われていくことだろう。

ベルヌーイ技術

Iomega Corporationのリムーバブルメディアドライブ、ベルヌーイボックスは、ウィンチェスターの技術を覆すものだった。回転するディスクによって発生する空気の流れを使って鋼体のディスクの上にヘッドを持ち上げるウィンチェスター方式とは異なり、ベルヌーイボックスでは、空気の圧力によってディスクがヘッドの周りで曲がるという柔軟性のあるディスクを使用している。ベルヌーイボックスの長所は、回転するディスクの体積がはるかに小さく、ヘッドがクラッシュしにくいという点である。短所をあげれば、このメディアは常に曲がっているため、次第に劣化していく点である。

このベルヌーイという名前は、18世紀のスイス人数学者であり物理学者であるダニエル・ベルヌーイが最初に提唱した「ベルヌーイの原理」から来ている。ベルヌーイの原理によると、流動体中のいかなる点においてもエネルギーの総量は一定であるため、流動体の速度が高くなると圧力は小さくなる。よって、空気の流れが速くなると、それに比例して圧力は低くなる。この原理に従って、飛行機の翼は〝エアフォイル〟となるよう設計されている。つまり、翼の下を流れる空気よりも上を流れる空気の方が長い距離を移動するようになっており、翼の上面の圧力が小さくなるのに対し、翼の下面の圧力が高くなるため、その圧力の差によって翼が持ち上げられて飛行機は飛ぶことができるわけだ。ウィンチェスターハードディスクのヘッドはエアフォイル式であり、これもベルヌーイの原理に依っている。Iomega社が使ったベルヌーイという名前は、正確にその技術を伝えているが、その製品に限定された技術というわけではない。

ハードディスク、ウィンチェスター、あるいは固定ディスクというように、用語はいくつも使われているが、このいずれについても、高速な大容量記憶装置としての基本的な原理は同じで、インストールのしやすさ、使いやすさ、そのほかの長所は共通しているのだ。

21.2 ハードディスクを理解する

ハードディスクはみな同じに作られているわけではない。ハードディスクのモデルが異なれば、素材や、技術、準拠している規格もそれぞれで異なる。それらの差異はハードディスクの性能や容量の違いとなり、価格も数百ドルから何万ドルといった幅広いものになっている。これらの違いを知っておけば、ディスクを使った製品すべてについて、その品質や価値を適切に見きわめる際の手助けとなり、また、ハードディスクを動作させ、正しく使用するために必要な事柄についても、よりよく理解できるだろう。

ハードディスクはギリシャ神話に出てくるキマイラのようなものである。つまり、電気的要素と機械的要素という異組織が組み合わされて一個体を構成しているのだ。電気的要素としては、ハードディスクは一瞬で消え去ってしまう電気的なデジタル信号を、永久的な磁界に変換するという素晴らしい機能を持っている。カセットレコーダからフロッピーディスクまでほかの磁気記憶装置と同じように、ハードディスクでは電磁石(読み書きヘッド)を用いて、ハードディスク上にある磁性粒子の極性を整列させている。また、ハードディスクシステムのほかの電気的な技術がドライブの機械的部分を制御することによって、正しく磁気記憶を行うために、ディスク上に記憶される情報の位置決めを助けている。

ドライブ機構

一般的なハードディスクの機構は、実際かなり単純なもので、電気かみそりや鉛筆削りなどの凝った作りの機械よりも、少ない可動部分で構成されている。ハードディスクの基本要素は、1つまたは複数の大きな円盤（プラッタ）、つまりハードディスクそのものである。このプラッタは、データが記録される磁気メディアを載せるための基材という役割を果たすもので、**スピンドル**と呼ばれるシャフトと共に回転する。通常、このシャフトは部品全体を回転させるスピンドルモータへ直接つながっている（図21-1参照）。

初期のハードディスク（IBMの初代ウィンチェスターの時代にさかのぼる）では、同期式モータを使用していた。これは、ドライブに電気を送っているAC電源の周波数にドライブの回転速度を同期するように設計されたものであった。この結果、ほとんどのモータは、電源ラインの周波数（3,600 rpm）と同じ速度でディスクを回転させており、この速度は、米国の商用電力の60サイクル／秒と同じである。

しかし、同期式モータは概して大型で重量があり、しかも高価だった。また、同期式モータは交流117 Vという通常の供給電圧で駆動するのだが、何種類もの電圧がコンピュータ内部を流れることは装置をクラッシュさせる原因ともなり得るため、望ましいことではない。これに対し、ハードディスクが小型化されるにつれ、メーカーは新しい技術であるサーボ制御直流モータを採用するようになり、このような問題は解決された。サーボ制御モータは、正確で一定した回転速度を維持するためのフィードバック技術を使用したものである。つまり、ディスクドライブの中に取り付けたセンサーによって、ドライブの回転数を監視し、回転速度が仕様で定めた数値と異なっていた場合には、これを調節するのである。

ディスクの回転

ほとんどのハードディスクドライブでは、フロッピーディスクドライブとは違って、プラッタが常に回転を続けている（少なくとも電源を立ち上げてからはずっと回転している）。これは、慣性の作用により、大きなかたまりのプラッタが比較的高い速度で安定して回転するまでには、5インチの場合で10～30秒、3.5インチの場合でもその半分程度の時間（小さい方は慣性が少ないため）が必要となるためである。ハードディスクが持つ2つの大きな長所のうちの一方はこれにより実現されている。つまり、ハードディスクは常時ディスクが回転しているおかげで、記録されているデータへすぐにアクセスできるわけである。逆にフロッピーディスクの場合は使用しないときは回転を止めているため、十分な速度になるまでに、0.5秒程度の時間がかかってしまう。

一方、ノートパソコンなどは、ハードディスクが常に回転していることが大きな負担になる。ディスクを常に回転させておくと、その間中、スピンドルモータによって電力が消費され、バッテリでの連続使用時間が短くなっていく。このため、携帯用のパーソナルコンピュータ向きに作られたハードディスクの中には、必要のないときはディスクの回転を止められる設計になっているものも出てきた。この場合、パーソナルコンピュータ側にこの機能をサポートする電子回路があって、いつディスクを停止すればよいかを判断している。ほとんどのパーソナルコンピュータでは、ハードディスクにしばらくアクセスしなかった場合、ユーザーが眠ってしまったか、死んでしまったか、あるいは、ユーザーがエイリアンによって捕らえられてしまいハードディスクを使えなくなってしまったかのいずれかであると判断し、ディスクを停止する。その後、ハードディスクへ読み出しか書き込みのコマンドが送られると、ハードディスクは回転を再開する。したがって、アクセスできる元の回転速度に戻るまでに、何秒か要することになる。一度速い回転に戻れば、次にハードディスクが停止するまでの間は、素早いアクセスが可能となる。

待ち時間

ハードディスクは高速で安定した回転速度を持っているが、アクセスすれば直ちに情報を提供してくれるというわけではない。アクセス後、必ずわずかな時間ではあるが遅れが生じる。この遅れを**待ち時間**という。この待ち時間は、ハードディス

クにコマンドを送った後、ハードディスクのヘッドが、探しているデータのある位置に達して、読み書きを行うまでにかかる時間である。たとえば、プログラムがハードディスクから1バイトのデータの読み出しを要求したとき、その直前にその対象の1バイトのデータが読み書きヘッドの下を通過したばかりだったら、ディスクはそのデータを読むたのにもう1周回転しなければならない。読み書きヘッドがいつディスクにアクセスする必要があるか予想できない場合、ディスクのヘッドが必要なデータのある位置へ達するまでに、平均して半回転する必要がある。3,600 rpm (resolution per minute) の速度の場合の通常の待ち時間は、ハードディスクに期待できる時間としては最も短いが、この場合、情報を取り出すのに必要な時間は、平均8.33ミリ秒になる。コンピュータがナノ秒という非常に短い時間で動作しているのに比べると、この待ち時間は実に長い。

ハードディスクの電子回路は、ディスクが3,600 rpmの速さで回転するものとして設計されており、また、初期のハードディスク用インターフェイス (ハードディスクをホストコンピュータに接続するためのもの) も同様であったため、ほとんどのサーボ制御ハードディスクは3,600 rpmで動作するようになっていた。しかし、ハードディスクがこの3,600 rpmで回転しなければならないという決まりは特になく、現在のインターフェイス規格 (ATアタッチメントやSCSI) では、開発技術者が自由に回転速度を決めることができる。回転数が多いほど性能がよくなるため、現在あるハードディスクの多くは、3,600 rpm以上の速度で回転するようになっており、中には5,400 rpmもの速度で回転するものもある。この場合、3,600 rpmのドライブで待ち時間が8.3ミリ秒だったものが5.5ミリ秒にまで短縮される。

しかし、ディスクの回転速度をどこまでも速くすることができるというわけではない。高速で回転すると、遠心力によって中心から離れる力が強くなるが、ハードディスクもその例外ではない。ディスクを設計する技術者は、待ち時間を短くすることと、機構が高速回転することによって自からの作用で壊れてしまわないようにすることの、2つのバランスを取らなければならないのである。

データ転送速度

ハードディスクの回転速度は、どれだけの速さでデータをドライブから連続して読み取ることができるかということに影響を与える。一定の記憶密度では、ディスクの回転数が速ければ速いほど、情報を読み取る速度も速くなる。ディスクの回転速度が高くなるにつれ、一定期間内で読み書きヘッドの下を通過するディスク面上のビット数は多くなっていくからである。すなわち、ディスクの回転速度の増加は、そのままデータ転送速度の増加につながるわけだ。

情報がディスクから制御回路 (この場合は、パーソナルコンピュータ本体のこと) へ移動する速度のことを、ドライブの**データ転送速度**という。データ転送速度は、Mビット/秒やMHz (通常、この2つの数値は同じことを意味する)、あるいはMバイト/秒 (Mビット/秒の8分の1に相当する) で表わされる。古いデバイスレベルのハードディスク用インターフェイスがデータ転送速度を制限していたのに対し、今日のシステムレベルインターフェイスの場合は、設計者が自由にデータ転送速度を決めることができる。ディスクの回転を速くすれば、設計者にとって、より高い転送速度が達成できることになる。もちろん業界の趨勢は転送速度を上げることにある。通常、この場合の制限要因は周波数の高さで、制御回路や、ドライブと電子回路をつなぐ接続ケーブルが安全に機能する範囲内でなければならない。

21.3　ディスクの中身

ハードディスクの中で回転しているディスクは、いろいろな意味でディスクドライブの中心的な存在である。このプラッタの直径がどれ位の大きさかによって、ドライブ全体の大きさが決まってくる。実際、ほとんどのハードディスクはプラッタのサイズによって分類されている。パーソナルコンピュータが世界で初めて登場した頃、ハードディスクのメーカーはプラッタを小型化しようと大変な努力を行っていた。そして、プラッタの直径は8インチから5.25インチへと小型化された。現在主流となっているプラッタはさらに小型化されたもので、デスクトップパソコン用の大容量ハードディスクでは、大抵3.5インチのプラッタが使用されている。また、ハードディスクの小型化が要求されるパーソナルコンピュータ（ノートパソコンなどの小型パソコン）に使用されるプラッタは、今日では直径2.5インチ、1.8インチ、さらには1.3インチ（現在はこれが最小）のものまで出ている。

記憶容量を増やすために1枚のプラッタは両面が使われており、両面にそれぞれ専用の読み書きヘッドがある（1つはプラッタの下側にある）。また、1本のスピンドルに数枚のプラッタを取り付けているメーカーも多い。ハードディスク内のプラッタの数が増えると、記録されている情報を取り出すのに必要な時間は短くなる。プラッタの数が多くなればなるほど、いずれかのヘッドの下に探そうとしている情報が来ている確率が高くなり、情報を検索するのに必要な時間が短縮されるからだ。

しかし、プラッタの数を増やすことについては、速度が高くなるという長所と同時に欠点も伴う。プラッタを増やせば体積は大きくなり、それによって慣性力が増えるため、必要な速度に達するまでの時間が長くなるのである。デスクトップマシンの場合、このことは問題にはならない。つまり、起動時のメモリチェックの時間の方がハードディスクが必要な回転速度に達するまでの時間より長くかかるからである。しかし、バッテリを節約するためハードディスクの回転を止めるようになっているラップトップやノートパソコンの場合、この余計に待たされる時間は煩わしく感じられる。また、プラッタの面が増えることで、それぞれのプラッタ用のヘッドが必要となり、ヘッドアクチュエータの機構がより大きく、複雑になってくるのは避けられない。繰り返しになるが、慣性力が増えることでヘッドの動きが遅くなり、ドライブのアクセス時間が長くなるのだ。もちろん、ハードディスクメーカーはヘッドアクチュエータの体積が増えることによる欠点を補うために、より強力なアクチュエータを搭載するようになったが、これによってサイズは大きくなり、コストも高くついてしまっている。

プラッタの構造

ハードディスクのプラッタは、マイクロインチの誤差も出ないように計測しながら、非常に精密に組み立てられている。先に述べたように、読み書きヘッドは各プラッタから数マイクロインチの上を飛行しているため、これほど精密に作る必要があるのだ。プラッタの速度を飛行機に例えれば、パイクス山（ロッキー山脈にある山）を前にしたDC−10型飛行機のようなもので、衝突すれば飛行機と同じようにハードディスクでも大変なことになる。このため、ハードディスクのメーカーはプラッタを作る際、可能な限り平らでなめらかになるように努力している。

プラッタの基材として最もよく使われるものはアルミニウムであるが、この素材にはいくつかの長所がある。まず、なめらかな表面に仕上げるのに比較的加工がしやすいという点である。また、アルミは通常、不活性物質であるため、その上にコートする物質と反応することがない。さらに、磁性を持たないため、記録するデータに影響を及ぼすこともない。このような理由から、アルミはハードディスクが生まれてから長らく、基材としてよく用いられてきたが、加えて、安価である点も大きな長所である。

アルミに代わる素材として新しく出てきたのがガラスである。もっとも、ガラスといっても、普通の窓ガラスに使われているようなものから、スペースシャトルの表面に使われているような最先端のセラミック化合物まで、幅広く存在する。ガラス製プラッタを使った場合、アルミ製プラッタと同様の品質が得られる。異なる点は、ガラス製プラッタの方が、よりなめらかに加工できるということである。しかし、プラッタの素材としてのガラスは歴史が浅く、アルミに比べて馴染みが薄い。このため、比較的大きなメーカーでは、小さなメーカーが製造している様子を見ながら、ガラスを新しい素材として受け入れていく準備をしているのが現状である。

領域密度

基材の表面がなめらかであることは、どれだけ多くの情報をプラッタ表面に詰め込むことができるかということに関係してくる。この性質を表わすために使われる用語が**領域密度**である。これは、プラッタ表面で、ある一定の領域内にどれだけ多くのデータを詰め込むことができるかということを表わすものである。領域密度が高くなればなるほど、プラッタ1枚あたりに記録できる情報は多くなる。ハードディスクを小さくした場合、大きな装置と同じだけの容量を得るためには、領域密度を高くする必要がある。

通常、領域密度はディスク表面における1平方インチあたりのMバイト数として表わされている。現在流通している製品では、1平方インチあたり100Mバイト～200Mバイトの領域密度となっている。

ハードディスクにおいて、領域密度に影響を及ぼす要因は数多く存在する。この場合、最も大きな要因は1ビットごとのデータを符号化する磁界の大きさである。ハードディスクのメーカーでは、より小さな磁界を作り出すことができるように、読み書きヘッドを小型化し、ざらざらしたプラッタ表面の出っ張った部分にヘッドが衝突しない程度にヘッドとプラッタの距離を狭めている。このほか、メディア自身も領域密度を決定する要因である。

酸化物メディア

ハードディスクで最初に使用された磁気メディアには、従来からオーディオテープに使われているのと同じ素材である酸化鉄や塩化鉄の化合物、基本的には、特殊なさびの微粒子が使用されていた。オーディオテープと同じように、この酸化物粒子を細かく加工し、ほかの化合物と一緒に、糊のような接着剤（潤滑剤を混ぜることも多かった）で練り合わせて使用した。この接着剤は、個々の酸化物粒子が互いに影響しないように分離する役割も持っている。そして、この泥のような混合物をプラッタの上にコーティングするのである。

酸化物を用いてコーティングをする技術はかなり以前からあり、十分な開発がなされている。この技術は50年以上も前から開発が続けられており、現在では、すっかりよく知られ、馴染みが深く、時代遅れとさえいわれるほどの技術になっている。最近のハードディスクでは、酸化物を使用したメディアは使われなくなっているが、これにはいくつかのもっともな理由がある。まず、酸化物粒子は磁気情報を記憶する役割において最善のものとはいえない。新しいメディアに使われている技術と比べると、酸化物粒子を使ったものは保磁力が弱く、個々の粒子は大きい。この2つの要素により、酸化物メディアにおける領域密度が制限されてくる。酸化物メディアによるプラッタは、ほんのわずか表面が荒くなっているために、ほかのメディアを使ったなめらかなプラッタと比べて、読み書きヘッドをプラッタからかなり離して飛行させなければならず、これによって最大記憶密度が下がってしまうことになる。また、酸化物コーティングは、一般に柔らかく、その上でヘッドが滑って止まった場合などは損傷をうけやすい。ディスクの回転が止まったときや、ドライブに衝撃が加わったときなどは、ヘッドがプラッタ表面に接触することになり、ちょうどレッドバロン号に攻撃されたように、データがヘッドによって機銃掃射を受けることになるのだ。

薄膜メディア

最近のハードディスクではほとんどが、酸化物コーティングの代わりに薄膜状の磁気メディアを

使うようになってきた。名前からわかる通り、このメディアでは、純粋な金属または金属の混合物を、顕微鏡で見ないとわからないほどの非常に薄い層にして用いている。この薄膜は、自動車のバンパーにクロームメッキをするのと同じようにメッキ付けする場合と、真空状態で加熱した電極から放出された金属を付着させるスパッタリング法という一種の蒸着メッキの手法を用いる場合がある。

この薄膜メディアには、酸化物メディアより優れている点がいくつかある。まず、非常に薄いため、領域密度を高くすることができるという点である。これは、磁界の厚みが増すにつれて磁界は広くなっていくのに対し、薄膜の表面が非常に滑らかであるため、ヘッドを近づけて飛行させても問題なく、したがって、磁界の厚さを薄く、つまり磁界を小さくできるからである。さらに、薄膜メディアは高い保磁力を持っているため、ディスク上のデータをエラーなしで読み取るために必要なだけの強力な磁気パルスを小さい領域内に作り出すことができる。

薄膜メディアが非常に薄く、同時に高い領域密度を達成することができる理由の1つは、クロームメッキされた自動車のバンパーや水道の蛇口と同じように、フィルムをメッキ付けやスパッタリング法で蒸着する際に、磁気の層を固定するための接着剤が必要ないということである。また、クロームメッキと同様に、ハードディスク上の薄膜は、酸化物によるコーティングと比べて何倍もの固さがあるため、ヘッドがプラッタに接触しても、自動車のバンパーと同じように、弾んで跳ね返るだけですみ、ヘッドがクラッシュすることはほとんどなくなる。

汚染

ヘッドのクラッシュは、衝撃から起こるだけではなく、メディア表面に付いた塵や大気汚染による空気中の微粒子がヘッドにぶつかり、ヘッドの飛行が不安定になることによっても発生する。ヘッドがディスクの表面に接触すると、メディアに傷が付くことがあり、その部分は記録不能になるだけにとどまらず、そのとき削られた微粒子がさらに大きなよごれ、そしてクラッシュを引き起こすこともある。

幸いなことに、薄膜メディアや丈夫なドライブ機構が広く普及したことで、ヘッドのクラッシュは過去のものとなっている。ハードディスクを使うにあたって注意を払うに越したことはないが、普通の使い方をしている限り、もはやクラッシュを心配する必要はない。最近のハードディスクはほとんどが過酷な使用条件が要求されるポータブルコンピュータ用（操作中に移動させることを想定してある）に設計されている。飛行機がエアポケットに入った場合と同じようなもので、何回かつついたぐらいではディスクは破壊されないようになっている。

塵、髪の毛、そのほか空中を浮遊しているホコリがプラッタを汚染しないようにするために、ほとんどのハードディスクでは、内部の壊れやすい部品はすべて保護カバーに包まれている。このように保護して危険を避ける必要があるのは、ほとんどのパーソナルコンピュータ用のハードディスクに使用されているメディアは交換できないためである。

ディスクの保護カバーは空気の出入りまで完全に密封しているわけではない。普通は小さな通気孔が作られており、ディスク内の気圧が外の気圧の変化に対応できるようになっている。この空気の出入り口は非常に小さなもので、塵などは、この通気孔に付けられたフィルタによってくい止めることができる。しかし、顕微鏡で見るほどの微細な粒子、たとえば、空気中の腐食性粒子などの場合は、このフィルタをも通り抜けてしまうことがあるため、これによってディスク表面が損傷する可能性がある。実際、このような形で汚染物質が入り込んでくる可能性は少ないが（ドライブ内部と外部の気圧が等しい限り、空気の流れは発生しないため）、ハードディスクを使う際は汚染されそうな場所で操作はしないのが最善策といえる。もっとも、そのような場所でハードディスクを使いたいと思う人はいないだろう。

リムーバブルメディアドライブ

リムーバブルハードディスクでは、ハードディスクのプラッタがプラスチック製のカートリッジ

に納められており、ドライブ機構の中から引き出して、ほかの場所に保管しておくことができる。また、別のプラッタをドライブに差し込むことで、ちょうどフロッピーディスクのようにメディアを交換することができる。

このような着脱可能なプラッタを外気と完全に遮断することは、実際には不可能である。このため、リムーバブルメディアドライブのメーカーでは、このような製品には特に丈夫なメッキ処理を施したメディアを使用しており、ヘッドのクラッシュによる損傷に対し、より強いものをと心がけている。通常の場合でも、プラッタが回転を始めるときに外気中の汚染物質を吸い込んでしまうため、それに対する対策を講じる必要がある。

加えて、リムーバブルメディアの場合、ヘッドアクチュエータも丈夫にしておく必要がある。これは、ヘッドがプラッタからかなり離れた位置(これによりプラッタは安全な形でドライブに抜き差しができる)から、非常に近接した位置(プラッタに十分接近しないと読み書きできない)まで動くようにしなければならないためである。このように、作りを頑丈にすることによって、最高速のハードディスクと比べると構造上どうしても遅くなってしまうため、リムーバブルハードディスクは平均アクセスタイムが遅いという欠点を持っている。

そこで、この問題を解決するべく登場したのが、モータ、プラッタ、ヘッド、アクチュエータ、保護カバーのすべてが1つに合体して着脱式カートリッジに納められた、一体型ドライブ機構である。この方式のドライブは、リムーバブルメディアドライブの中でも圧倒的に安全性が高い。さらにこのドライブでは、普通のハードディスクと同じような構造にできるため、汚染の可能性は小さく、クラッシュをそれほど心配しなくてもよいだけでなく、スピードも速い。現在のところ、このドライブで唯一の欠点といえば、価格が高いということである。

さらに新しい方法として現れたのが、3.5インチドライブを着脱式ユニットに変えてしまうハードディスクキャリアである。このキャリアは2つの部分からできている。1つはパーソナルコンピュータのドライブ取り付け部にずっと取り付けたままとなるマウント(台座)部で、もう1つがハードディスクを取り付けるキャリア自身である。キャリアがマウント部を出入りする仕組だ。パーソナルコンピュータを立ち上げる前にハードディスクを差し込んでおき、使用後はそれを抜いて安全な場所に保管しておくという使い方をする。

21.4 読み書きヘッド

ほとんどのハードディスクドライブでは、プラッタは別にして、内部で唯一の可動部分といえば、ヘッドシステムということになる。ほとんどすべてのドライブで、各プラッタの両面にそれぞれ読み書きヘッドが付いており、プラッタ表面のすぐ上かすぐ下を飛行している。それぞれの読み書きヘッドは、飛行する部分を支える丈夫なアームに、柔軟性を持たせて取り付けてある。通常、これらのいくつかのアームによって1つの可動ユニット(普通は一点を中心に弧を描くように動く)が形成されている。

ディスクとヘッドの距離による影響

読み書きヘッドとディスクの距離は、ハードディスクの最大記憶容量を決定する要素の1である。磁界は距離が離れるに従って広がっていくため、ヘッドがディスク(プラッタ)から離れるに従って、ディスク上の磁束遷移により形成される磁界の大きさは、より大きくなっていく。逆に、ヘッドがディスクに近づくに従って、磁界の大きさが小さくなるため、このようにヘッドをディスク表面に接近させることでディスクの容量(領域密度)を高めることができる。1980年代で最も優れたハードディスクでは、このディスク表面からヘッドまで

の距離は10～12マイクロインチであった。最近のものでは、この距離が5マイクロインチにまでなっている。このようにヘッドとディスクの距離が近くなったことは、プラッタの表面がなめらかになってきたことや、なめらかな薄膜メディアが現れたことの恩恵である。

コンタクトメディア

磁界は距離が離れるに従って広がる性質があるため、読み書きヘッドがプラッタ表面へ近づくにつれて、形成される磁界の焦点が1点に定まり、ヘッドがより小さな領域を読み書きすることができる。ヘッドの飛行位置をプラッタに近づけることで、ハードディスクの記憶能力を高めることができるということは前述のとおりだ。

この場合の距離の限界は0ということになる。プラッタからの距離が0ということは、ちょうど曲技飛行のパイロットが空を飛んでいるのと同じように、危険と隣り合わせで飛行することだ。飛行機が低空飛行する場合に、木々や家畜、そのほかもろもろの障害物とぶつかる危険があるのと同様に、ハードディスクでヘッドがプラッタへ極めて接近して飛行する場合も、これと似たような危険が連続して起こる。ヘッドとプラッタ表面との間にまったく距離がない場合は、摩擦というさらに大きな問題とぶつかることになる。この場合、ヘッドは常にプラッタ表面をこすり続けるため、摩擦による磨耗が生じる。この場合、プラッタ側がすり減るにしても、ヘッドがすり減るにしても結果は同じで、ハードディスクは使えなくなってしまう。

このような問題はあっても、ヘッドとプラッタの間で最も理想的な距離は0である。そこでハードディスクのメーカーは、この摩擦という問題の解決方法を見いだした。粘性のある液体をヘッドとプラッタの間の潤滑剤にするのである。この結果、ヘッドは飛行するというよりは泳ぐといった形になり、この粘液でヘッドとプラッタ両者の摩耗を防ぐことができる。この何年かの内に、このコンタクトディスクが従来のヘッドが飛行する形の設計に取って代わるのではないかと期待されている。

ヘッドアクチュエータ

読み書きヘッドはハードディスク上の情報をアクセスする役割がある。もしこのヘッドがテープレコーダのヘッドのように、位置が固定されていた場合、ディスク上のほんの狭い範囲の情報しか読み取れなくなってしまう。ヘッドだけでなく、ヘッド周辺の部品も動けるようにすれば、ハードディスクにおける記録可能な領域を十分に使うことができる。ヘッド部分全体を動かす機構を**ヘッドアクチュエータ**と呼んでいる。通常、ヘッド部分はピボット式で、特別なヘッドアクチュエータ用ソレノイド（筒型コイル）またはモータによってディスクを横切るように動く（一点を中心にして弧を描くように動く）。

最近のヘッドアクチュエータでは、ハードディスクの容量を高める役割も持たせて設計がなされている。ヘッドアクチュエータの精度を高めることで容量を増やすのである。ハードディスクのシステムにおいて、記憶するデータの限界密度を決定する最も重要な要素は、1ビットごとの情報を記録するディスク表面上で、どれだけ精密かつ連続してヘッドの位置決めができる機構を持っているかということだ。この機構が精密になればなるほど、情報の記録密度は高くなる。ハードディスクに、より性能の良いヘッドアクチュエータを使うことで（同時に、プラッタが丈夫で、ぐらつくことはないという安定性を持っている必要がある）、安定性と正確さを持った記憶環境ができ、より高い密度で安心して情報を詰め込むことができるようになる。

ヘッドアクチュエータのタイプ

ヘッドアクチュエータは電気的かつ機械的システムの一部分であり、ここにはヘッドの動きを制御する電子回路も内蔵されている。ハードディスクに使用されている電子システムは、開ループ型と閉ループ型の2つのタイプに分けることができる。開ループ型のシステムは、現在のハードディスクには使われなくなってきたが、ハードディスクが発展してきた歴史の中で重要な役割を果たしている。XTやATに使われたディスクは開ループ型のシステムが基本になっていた。

ハードディスクの機構のタイプは、この開ループ型と閉ループ型の設計技術と関係がある。ほとんどの開ループシステムではバンドステッパ技術が用いられていた。一方、今日の閉ループ型ハードディスクはサーボボイスコイルアクチュエータを使用しているのが一般的である。このループが開型か閉型かということは、単に、アクチュエータを制御してヘッドの位置を決定することを、直接フィードバックするかどうかということを表わしているに過ぎない。開ループ型のシステムでは直接のフィードバックはなく、アクチュエータがヘッドを動かした後は正しい位置へ行ってくれることを期待している。一方、閉ループ型のシステムでは、読み書きヘッドがプラッタ上で位置決めをする際のフィードバックがなされる。したがって、閉ループ型のドライブでは、プラッタ上でヘッドをより正確な場所へ位置決めすることができるため、記憶密度もより高くすることができるわけだ。

バンドステッパアクチュエータ

バンドステッパアクチュエータの基本原理は、フロッピーディスクのヘッドを動かしている機構と同じものである。通常、バンドステッパアクチュエータにはステッパモータを使用し、ヘッドを動かす力を作り出している。ステッパモータとは特別な形の直流モータで、連続回転する代わりに、制御回路からのパルス信号に対応して、断続的に回転する。バンドステッパシステムの電子回路から、ある一定数のパルス信号が送られると、それを受けてステッパモータがその数だけ回転する。バンドステッパの〝バンド〟とは、モータの回転軸に取り付けてヘッドを直線運動させるための薄いひも状の金属のことを指している。制御回路から出される1つのパルス信号によってヘッドはハードディスク上で1トラック動く。この方式のアクチュエータでは、確実にパルス信号をモータへ送る必要があるため、それによってアクチュエータの速度は制限を受ける。

バンドステッパ方式で設計上の長所を上げるとすれば、制御回路が簡単であるということと、データを記憶するのにプラッタの各面をすべて使用できるため、記憶容量が多くなるということである。欠点は、実際のステッパモータの設計において、トラック数の制限を受ける（前述の通り、1ステップにつき1トラック）ということである。また、各パルス信号はアクチュエータによってひとつひとつ認識される必要があり、エラーが起きることも考慮しておく必要があるため、ヘッドが動くことのできる（そしてデータを見つける）速度も制限を受ける。最近の精密な電子技術のもとでは、制御回路の簡単さは長所とはならなくなり、また、新しい設計方法によって領域密度が向上したため、プラッタの表面の1つが使用できなくても、大きな記憶容量を実現することができる。この結果、バンドステッパ方式のハードディスクは時代遅れのものとなり、大きなメーカーで新しく作られる製品には、この技術はもはや使われなくなっている。

サーボボイスコイルアクチュエータ

閉ループ型のシステムでは、ディスク上でヘッドがどの位置にあるかという情報を常時知ることができるため、ヘッドの位置は正確に把握されている。このシステムでは、サーボ面と呼ばれるプラッタの1面が特別に用意されており、これを常に読み取ることによってヘッドの位置を決定している。このサーボ面には特別な磁気パターンが記録されており、これを利用することでドライブ機構がディスク上での記録位置を識別するようになっている。

閉ループ型のアクチュエータシステムでは、拡声器のボイスコイル（名前の由来もここから来ている）のように働くボイスコイル機構が使われている。この設計では、電子回路を制御することでワイヤ（ソレノイド）でできたコイルに磁界が発生し、この磁界によってスプリングとは逆の力が生まれ、ヘッド機構を引っ張るようになっている。コイル内の電流が変化することで、ヘッド機構はアンカースプリングから引っ張られ、ヘッドはディスク上を横切って動くことができる。この設計では、ボイスコイル機構は直接ピボットアーム（1点を中心に動かすためのアーム）に接続されており、このアームはプラッタ上の読み書きヘッドを支えている。ボイスコイルから発生する力を変化させることで、プラッタ表面で放射状にヘッドを動か

すわけだ。

閉ループ型の性質により、このサーボボイスコイルによるシステムでは、ヘッドが動いてディスク上の位置を決める際の手順を細かく算出する必要はない。このシステムでは、何ミリ秒という短い時間で、サーボ機構からの情報に基づき正確な位置合わせができるため、ヘッドはほぼ正確な位置へ素早く到達することができるのだ。このように閉ループ型の位置合わせを採用すると、高速でトラック密度も高くできるため、大手のハードディスクメーカーではこの方式を採用するのが主流となっている。

デュアルアクチュエータドライブ

サーボボイスコイル機構においても、物理法則に従わないわけにはいかない。あるトラックから別のトラックへすぐ動くということはできないため、ヘッドがある特定の情報を探す場合、どうしてもわずかな遅れは生じる。ハードディスクの性能が高くなるように開発していく上で、1つの大きな目標としている問題が、この待ち時間を短縮するということである。ハードディスクのメーカーでは、ヘッド周りの部品の体積を減らす（これによって慣性力が小さくなり、動きが素早くなる）ことで、従来の機構を改善しようと努力を続けてきた。しかし、飛躍的にスピードを向上させるためには、思い切った変更をする必要がある。

従来型の設計から抜け出し、このような試みを最初に行ったのが、Conner Peripheralsの手によるデュアルアクチュエータハードディスクであった。Conner社の設計では、1つのプラッタにつき1つのヘッドを配置するのではなく、1つのプラッタにつき2つのヘッドを用い、それぞれのヘッドには独立したアクチュエータを付ける。2つのヘッドはどちらもプラッタの全面を走査することができる。これに適切な制御回路が加われば、この機構で待ち時間は半分になり、連続した読み書きのためにヘッドが移動することによって課されていた遅れから解放することができる。

これはつまりこういう仕組みだ。ディスクの正反対の位置に2つのヘッドを配置する。ドライブを制御する回路が、どちらのヘッドが読み書きに使用するデータと近い位置にあるかを判断すれば、どちらか一方のヘッドが必要なデータへ到達するのに、プラッタの回転は半分以下ですむ。したがって、回転に要する待ち時間は半分に短縮されることになる。

読み書きの指示が連続して行われる場合、この2ヘッド方式のシステムでは、アクセスに必要な待ち時間を効果的に短縮できる。一方のヘッドがシーク動作をしている間に、もう一方のヘッドが読み書きできるため、次の動作へ移る用意がいつもできている状態になるのだ。ただし、この技術は、現在使われているDOSのバージョンでは使えない。これは、DOSを使用する場合、1つの指示を出した後はそれが完了するまで次の指示は出せないためである。DOSよりも進んだオペレーティングシステム（Novell NetWareなど）の場合は、この設計の利点を完全に活かすことができる。

ランディングゾーン

ハードディスクはスイッチを切ったときが最もクラッシュの可能性が高い。コンピュータのスイッチを急に切った場合、ハードディスクのプラッタは回転を止めなければならず、このときヘッドを浮かせていた気流も止まってしまう。通常の場合は、この気流は徐々に弱くなっていくため、ヘッドもゆっくりと下に降りることができ、飛行機が着地するようにディスクメディア上に着地する。

しかし実際は、ヘッドがメディア上に着地することは、制御下にあるクラッシュともいえる。このため、薄膜メディアタイプのハードディスクを含め、ほとんどのハードディスクで、データの記録されていないランディング（着地）ゾーンが特別に設けられている。このランディングゾーンは通常、データを記録するエリアのどちらか一方の端に設けられている。

パーク&ロック機能

通常、ディスクの回転が止まる際には、ヘッドをプラッタのランディングゾーンに降ろし、そのヘッドを保持するソフトウェアのコマンドが必要である。このプロセスのことを**ヘッドパーキング**という。ドライブによっては、いつスイッチがオ

フにされても、ディスクの回転が止まる前に、ヘッドが自動的にランディングゾーンへ退避できるようになっているものもある。

しかし、ハードディスクのスイッチをオフにし、読み書きヘッドが正しくランディングゾーンへ降りたとしても、クラッシュの危険がまったくないわけではない。ヘッドがランディングゾーンへ降りても、それが表面で跳ね返って、もろい記録面の上へ降りた場合などは、システムに衝撃を与えることになる。このような事故を防ぐため、電源をオフにしたとき、ランディングゾーンでヘッドの位置が固定されるようにしたハードディスクが増えつつある。この機能は一般に自動パーク&ロック機能と呼ばれている。最近のハードディスクではほとんどがこのパーク&ロック機能を採用している。

21.5　ディスクのジオメトリ

ハードディスクの機構とコントローラと操作するソフトウェアの組み合わせによって、プラッタ上でデータがどのように並べられるかが決められる。頻繁に交換して使用するフロッピーディスクとは違って、ハードディスクの場合はメディアがドライブ機構の中に常時組み込まれた形で使用されるため、特定の規格に合致させる必要性がない。ハードディスクではプラッタをドライブ機構の中から取り出すことができないため（缶切りや釘抜きを使って中身を取り出すというなら話は別だが）、メディアの互換性は必要ないのである。したがって、ディスク上でデータが物理的にどう並んでいるかはハードディスクの設計者だけが知っていることになる。

しかし、ハードディスクの設計者がなんでも自由に設計できるというわけではない。DOSやIBMのハードウェア規格との互換性を保たなければならないという制約がある。ある特定のディスクパラメータは、完全な互換性のために正しい値に設定しなければならない。これは1つの障害といえるのだが、これを乗り越えるためにどれだけの努力が必要かということを正確に計算する電卓を持った技術者もいるのだ。今日の進んだドライブの制御回路のもとでは、設計者は幅広い選択肢の中からパラメータを選ぶことができる。パーソナルコンピュータの規格に合致しないパラメータを選んでも、制御回路がコンピュータをだまして、ルール違反であることがわからないようにするのである。したがって、パーソナルコンピュータ側には、ハードディスクがIBM規格に完全に準拠しているように見えるが、ドライブの中で何が起こっているかは設計技術者にしか関係ない。

このパラメータがごまかしであることを理解するためには、最初にハードディスクドライブがデータを記憶する際のビットの配置法について若干の知識を持たなければならない。ハードディスクが実際にデータを配置する方法は、「**ドライブのジオメトリ**」と呼ばれ、ドライブをインストールする際に使用するセットアップパラメータを決めるものだ。

トラック

ハードディスクで使用されている磁気メディアやヘッドアクチュエータの種類にかかわらず、読み書きヘッドは、データを読み書きするときは必ず、ディスク面上での水平方向の動きを止めなければならない。ヘッドが静止している間、プラッタはその真下で回転するのである。プラッタが1回転するごとに、ヘッドはその表面を1周分トレースすることになる。この1周分で描かれる円をトラックという。

シリンダ

各プラッタに取り付けられたヘッドはそれぞれ別のトラックをトレースする。ヘッドアクチュエータがある一定の位置にあるとき、各ヘッドがトレー

スしているトラックを全部合わせると、シリンダ(円筒)の形になっているため、この垂直方向に見たトラックの集合をしばしば**シリンダ**と呼んでいる。

通常、パーソナルコンピュータのハードディスクでは、シリンダの数は312から2,048である。しかし、実際に使用できる数はそれより少ない。シリンダの数はサーボ面に描かれた磁気パターンにより、ドライブを製造した時点で決まっている(利用者が変更することはできない)。

セクタ

ほとんどのハードディスクでは各トラックを、**セクタ**と呼ばれるさらに短い弧に分割している。セクタはドライブにおける基本の記録単位である(DOSでは、いくつかのセクタをまとめてクラスタと称し、ファイルを記憶する上での基本単位としている)。セクタは、ソフトセクタである場合とハードセクタである場合があり、前者の場合は、トラックに書き込まれるデータの中に埋めこまれたビットパターンによって、磁気的にマークが付けられ、ハードセクタの場合は、ドライブ機構によって設定される。

ソフトセクタはローレベルフォーマットのプログラムによって書き込まれるが、その数は、フォーマットをするソフトウェアとディスクに接続してあるインターフェイスに従って、ほとんど任意に設定することができる。DOSやOS/2はどのバージョンでも、ハードディスクの標準構成は、1セクタにつき512バイトとなっている。ST506インターフェイスやMFMのデータ符号化方式を使ったドライブでは、各トラックは17セクタにほぼ決まっている。これがRLLに移行すると、セクタ数は25または26となる。ESDIドライブの場合は1トラックが34セクタとなっている。ATアタッチメントやSCSIハードディスクの場合は、ほとんどがトラックごとのセクタ数を任意に決めることができる。この場合、内側のトラックから外側のトラックまでセクタ数を変化させて定めることさえ可能になっている。

従来型のハードディスクでは、どのトラックもセクタの数は同じであるが、これは以前あったほとんどの記録方法が等角速度記録であったためである。この技術では、ディスクの回転速度が固定されており、したがって、ヘッドがどのトラック上にあるときでも、常に同じ中心角度で描かれた長さの弧(セクタ)がトレースされる。この場合、実際の弧の長さはヘッドがどの位置にあるかによって変化する。つまり、ディスクの中心から遠く離れたトラックにあるセクタは、内側よりより長いことになる。しかし、外側のセクタのほうが長いといっても、内側の短いセクタと比べて、記録する情報量は同じである。角速度が一定の装置は、ディスクの回転速度が一定にできるため、製造が易しい。昔のレコードプレーヤなどが、等角速度記録の良い例であろう。その黒い円盤は毎分33回転、45回転、78回転という一定の速度で回転していた。

これに代わるより効果的な技術が**等線速度記録方式**である。この方式では、読み書きヘッドが内側から外側へ移動するのに従って回転速度が変化し、ヘッドの下を等しい長さのトラックが通過するようになっている。この方式では、ヘッドがディスクの外側のトラックに進むに従って回転速度を落とすため、等角速度記録方式より多くの情報を各トラックに記録できる。その性質から、オーディオ用のCDなど、多くの情報を詰め込む必要のあるメディアにおいては、この等線速度記録が採用されている。

しかし、この等線速度記録方式はハードディスクには適していない。ディスク上で正確に読み書きするためには、正確な速度で回転させる必要があるためだ。ハードディスクでは、ソフトウェアの要求に従い、外側のトラックから内側のトラックへと急に飛ぶということも普通に起こる。これに合わせてディスクの速度を変化させるとなると、慣性力が影響し、変更に要する時間が長くかかり、平均アクセス時間が跳ね上がってしまうことになる。

ゾーンビット記録方式はこの問題を解決するものである。ディスクの回転速度は一定に保たれているが、その制御回路によって、ディスクの外側へ行くに従い、より多くのセクタに分割できるようになっている。ただし通常この方式は、馴染みのソフトウェア(DOSやフォーマットプログラム)上では使うことができない。これらを使う場合、

全トラック上には同じ数のセクタがなければならないからである。このディスクのインターフェイスはドライブに組み込まれているため、ドライブの物理的なフォーマットはソフト側ではまったく知ることはできない。ディスクの制御回路がこのドライブ特有のフォーマットを従来のディスクドライブに近いように変換するのである。

現在、このゾーンビット記録方式は特許によって制限を受けているため、この方式の製品を作っているメーカーはほとんどない。さらに、これを使った装置は非常にインテリジェントなインターフェイスを必要とし、容量を増加させることはできるが使用するのは難しいため、小型のドライブに使われることは少ない。

ライトプリコンペンセーション

等角速度記録方式には、さらにもう1つ欠点がある。中心のスピンドルに近づくに従って、データをより狭い場所に入れる必要があるため、記録メディア上に磁気粒子をこれ以上ないほど詰めて記録することになる。多くの磁気メディアでは、磁束遷移のある場所があまりにも狭すぎると、磁束遷移を保持する能力が落ちてしまう。このように詰め込みすぎた場合、磁界は弱くなり、読み書きヘッドへ流れる電流も弱くなってしまう。

この問題を解決する1つの方法として、セクタが中心のスピンドルに近づくに従って、より強い磁界で書き込むという方法がある。読み書きヘッドが中心に近づくに従って強い電流で書き込むと、強い磁束遷移を作ることができる。こうすれば、読み取り時には読み書きヘッドに強い電流を流すことができる。

この処理では、ディスクに情報が記録される前の段階で、書き込み時の電流を中心に近づくに従って強く補正することから、ライトプリコンペンセーション（書き込み補償機能）と呼ばれている。

シリンダ数の限界

ハードディスクの設計者は製品を作る際に使用するジオメトリを自由に決められるわけではない。パーソナルコンピュータの設計によってハードディスクのジオメトリも決まってくる。特に、IBMが最初に設計したシステムによって決まっていることが多く、ほかのメーカーは互換性を維持するため、それに合わせている。ハードディスクについては、IBMのハードウェアやソフトウェアが対応するように、ファイルアロケーションテーブルのエントリのサイズや数、シリンダ数がIBMによって厳しく制限されたのである。

第一世代のATやその互換機の時代まで、ハードディスクにおけるシリンダ数は最高1,024本であった。この1,024本という限界値は、システムのハードウェアおよびソフトウェアのすべてによって強制されたものである。DOS側もハードディスクのコントローラ側も、1,024という制限を越える部分にはまったく対応しない。たとえハードディスクにシリンダが1,024本以上あったとしても、最初の1,024本にしかアクセスできないのである。

最近のハードディスクは、直径3.5インチのもので厚さが1インチといったように、ドライブの厚みを薄くする傾向にあるため、このようにシリンダ数に制限があることは厳しい問題である。ヘッドの入る場所が狭いということは、ドライブ内で重ねることのできるプラッタの数も少なくなるということである。したがって、このように狭い場所でより多くのデータを記録するには、各プラッタ上でより高密度に情報を記録するしかない。これはすなわち、シリンダ数を増やすことを意味する。

ソフトウェアドライバがあれば、DOSの初期バージョン（3.3以前）が多くのシリンダ数は扱えないという点は改善できるが、すべてのPCやXTのコントローラは、1,024本以上のシリンダにはアドレスできない。このハードウェア側の制限は、Western DigitalのWD1002シリーズのコントローラもしくは互換コントローラを使用しているATやその互換機にも及ぶが、WD1003シリーズからは、この制限はなくなった。ただし、このコントローラを搭載したディスクを十分に活用するためには、これに加えてドライバやDOSの新しいバージョンも必要である。

トランスレーションモード

ハードディスクのメーカーは、この問題を解決するためのより良い方法として、セクタのトラン

スレーションまたはトランスレーションモードというものを考え出した。これは、基本的には、ハードディスクがそのジオメトリをある配列から別の配列へ翻訳(トランスレーション)することである。たとえば、ドライブが2,048本のシリンダと3つのヘッドを持っていたとしても、ドライブの制御回路は、ドライブにはシリンダが1,024本しかなく代わりにヘッドを6つ持っているかのように応答できるため、制限内でうまく動作できるのである。このトランスレーションはドライブ自身で行うため、ユーザーもシステム側も、物理的なヘッドやシリンダの配列が実際どうなっているかを気にする必要はない。セクタのトランスレーションは、ディスクコントローラのすべての面の制御権が完全にディスクの設計者に与えられているような、インターフェイス(ATアタッチメントやSCSIなど)が組み込まれたドライブで、最も効果的に働く。

2、3のメーカーは、このトランスレーションという方法をもう一歩進めた。ドライブでトランスレーションができるだけでなく、最終的な配列に柔軟性を持たせ、どの方法が最善であるかをドライブ自身が決定できるのである。たとえば、SeagateのATアタッチメントドライブの中には、システムをチェックし、そのシステムが期待しているジオメトリを判断し、その後、ドライブはカメレオンのようにその構成へと姿を変えることができるものがある。

アドレスの限界

DOSのバージョン4.0以前では、ディスクに対して1つの単位としてアドレスできる最大値は32Mバイトに制限されていた。現在でも、以前のソフトウェア(特にハードディスクユーティリティ)との互換性を保つため、多くの人々が32Mバイトというパーティションと容量に固執している。

この制限は、IBMとMicrosoftがファイルアロケーションテーブルとして定めた空間と、それぞれのクラスタに割り当てられたセクタの数から発生している。DOSでは通常、4つのセクタから成るクラスタ単位にファイルを分割する。この場合、ファイルアロケーションテーブルを使用して、どのファイルがどのクラスタから成っているかが記録される。DOSがアドレスできるクラスタの数は、ファイルアロケーションテーブル全体のサイズと、テーブル中の各エントリのサイズによって制限を受ける。

DOSのバージョン3.0以前のものでは、ファイルアロケーションテーブルの各エントリは、1バイト半(12ビット)で、最高4,096のクラスタが識別できた。DOSの初期バージョンでは、クラスタは8セクタから成っており、それぞれの合計が4,096バイトであった。この方式では、標準的なDOSのボリュームの最大の大きさは16Mバイトであった。

DOSのバージョン3.0以降は、各ファイルアロケーションテーブルのエントリは、ディスクの容量に従って、12ビットまたは16ビットのどちらでも可能となった。16Mバイト以下の小さなハードディスクでは、12ビットのアロケーションユニットが使用されている。それより大きなハードディスクでは16ビットのファイルアロケーションテーブルになっており、合計65,536のエントリが可能となった。ファイルアロケーションテーブルの数が大きくなるに従って、クラスタのサイズは4つのセクタ、つまり2,048バイトにまで小さくなった。

しかし、DOSのバージョン3.0から3.32(互換性のため。OS／2バージョン1.0も)までは、ファイルアロケーションテーブル自身のサイズを16,384のエントリに制限しているため、これらすべてのエントリが使用できるというわけではない。4つのセクタからなるクラスタサイズによって決まるエントリの数によって、DOSのアドレス限界は32Mバイトに制限されている。この方式を使用すると、16,384以上のファイルアロケーションテーブルのエントリを記録するスペースはないため、これ以上のディスクは使用不可能となる。

DOSのバージョン4.0の登場により、ファイルアロケーションテーブルへの割り当てが65,536バイトになったことで、32Mバイトという限界は破られた。この変更のみで、ハードディスクの最大記憶容量は128Mバイトへと4倍に跳ね上がったのである。もちろん、この限界はファイルアロケーションテーブルの16ビットというサイズによっても制限を受ける。

バージョン5.0以降のDOSでは、各クラスタのサイズを変更することで、128Mバイトという制限を越えている。たとえば、各クラスタのサイズを4から8セクタ(2,048から4,096バイト)へ増やせば、ファイルアロケーションテーブルのエントリサイズを変更することなく、ハードディスクの最大記憶容量を効果的に倍増することができる。実際、DOSのバージョン5.0以前では、ハードディスクの管理プログラムは、この技術を用いて、従来の32Mバイトおよび128Mバイトの限界を破っている。バージョン5.0では、クラスタを最高16セクタ(8,192バイト)で構成できるようになっている。

この技術は優れたものであるが、やはり欠点もある。それは無駄が出るということだ。ディスクのスペースはクラスタ単位で分割されている。したがって、1つのファイル(または、特殊な形のファイルであるサブディレクトリ)がどれだけ小さくても、最低1クラスタは使用する。大きなファイルはクラスタ全体を使用するが、1クラスタを越えた半端な部分もやはり1つのクラスタを使用する。平均的には、ディスク上の各ファイルはクラスタの持つスペースの半分しか使っていない。ファイルが多いほど、無駄が生じ、また、クラスタのサイズが大きいほど、無駄が増えるわけだ。大きなファイルばかりを扱っているのでない限り、クラスタのサイズが大きくなるに従って生じる無駄は避けられない。

DOS 5.0では、一定のディスク容量に対して、最小のサイズのクラスタを使用するような設計になっている。これにより、2,048バイトのクラスタを用いて、1つのユニットとして最高134,217,728バイトまでの容量をアドレスすることができる。8,192バイトのクラスタでは、1つのユニットあるいはディスクのパーティションにおける最大のサイズは536,870,912バイトとなる。バージョン5.0ではより大きなハードディスクを扱うことができるが、1／2Gバイト単位に分割する必要がある。

ディスクのパラメータ

プラッタ(またはヘッド)の数、シリンダの数、そしてライトコンペンセーション処理が始まる地点を合わせて、ディスクのパラメータと呼ぶ。これら3つの数字は、ハードディスクのコントローラがディスクを正しく操作するために必要なものである。

IBMのXTのような初期のコンピュータや、初期の増設用のサブシステムでは、ディスクのパラメータはROMのファームウェアの中に記録され変更できないようになっていた。このため、いずれのコントローラも制御するディスクドライブのモデルに適合している必要があった。

これに対し、2、3のサードパーティが、これより優れた手法を開発した。これらのメーカーは、ほかのモデルのディスクドライブでも同じ方法で到達できるようなディスク上の場所に、ディスクのパラメータを記録したのである。ハードディスクを立ち上げる処理の1つとして、ディスクに識別情報を読むための命令が出され、その情報をコントローラへロードするのである。これにより、コントローラはドライブを正しく走らせることができる。

IBMのATでは、コントローラへのディスクパラメータについての新しい方法が開発された。パラメータはコンピュータのCMOSセットアップメモリに記録されており、コントローラはCMOSからパラメータを読み込んだ後でドライブを走らせるのである。これと同じ方法がPS／2シリーズで使用されている。

ESDIおよびSCSI規格のドライブではドライブのパラメータはシステムに埋めこむことができる。たとえば、ESDIドライブは、パラメータをディスク自身に書き込むことができるが、これは、その情報へアクセスするときの位置や方法が標準化されているためである(それでも、コンピュータによってはESDI型ドライブのディスクパラメータを知る必要があるものもある)。SCSIはシステムレベルのインターフェイスであるため、この問題が表に出ることはない。コントローラの制御回路はドライブの一部であるため、組み合わせが不適当になることはない。

ATアタッチメントのディスクで自動トランスレーションモードにした場合、パラメータは一切気にする必要がなくなる。システムを適切なドライブ容量に設定している限り、後はディスク自身

が正しいパラメータを選択してくれるのだ。
表21-1に、ATや同種のコンピュータで使用される一般的なハードディスクの基本的なパラメータを示した。

表21-1　一般的なハードディスクのパラメータ

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
MFMインターフェイス					
ALPS	DRND−10A	10	615	2	17
	DRND−20A	20	615	4	17
	DRPO−20D	20(RLL)	615	2	26
	RPO−20A	20(RLL)	615	2	26
Ampex	PYXIS−7	5	320	2	17
	PYXIS−13	10	320	4	17
	PYXIS−20	15	320	6	17
	PYXIS−27	20	320	8	17
Atasi	AT−3020	17	645	3	17
	AT−3033	28	645	5	17
	AT−3046	39	645	7	17
	AT−3051	43	704	7	17
	AT−3051+	44	733	7	17
	AT−3053	44	733	7	17
	AT−3075	67	1024	8	17
	AT−3085	71(RLL)	1024	8	26
	AT−3128	109	1024	8	26
BASF	6185	23	440	6	17
	6186	15	440	4	17
	6187	8	440	2	17
	6188−R1	10	612	2	17
	6188−R3	21	612	4	17
Bull	D−530	26	987	3	17
	D−550	43	987	5	17
	D−570	60	987	7	17
	D−585	71	1166	7	17
C.Itoh	YD−3042	44(RLL)	788	4	26
	YD−3082	87(RLL)	788	8	26
	YD−3530	32	731	5	17
	YD−3540	45	731	7	17
Control Data	94155−19	18	697	3	17
	94155−21	18	697	3	17
	94155−25	24	697	4	17
	94155−28	24	697	4	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	94155－36	30	697	5	17
	94155－38	31	733	5	17
	94155－48	40	925	5	17
	94155－51	43	989	5	17
	94155－57	48	925	6	17
	94155－67	57	925	7	17
	94155－77	64	925	8	17
	94155－85	71	1024	8	17
	94155－86	72	925	9	17
	94155－96	80	1024	9	17
	94155－120	102 (RLL)	960	8	26
	94155－135	115	960	9	26
	94205－30	25	989	3	17
	94205－41	38 (RLL)	989	3	26
	94205－51	43 (RLL)	989	3	26
	94205－77	65 (RLL)	989	5	26
	94335－55	46	1072	5	17
	94335－100	83	1072	9	17
	94335－150	128 (RLL)	1072	9	26
CMI	CM3206	10	306	4	17
	CM3426	20	615	4	17
	CM5205	4	256	2	17
	CM5206	5	306	2	17
	CM5410	8	256	4	17
	CM5412	10	306	4	17
	CM5616	13	256	6	17
	CM5619	15	306	6	17
	CM5826	21	306	8	17
	CM6213	11	640	2	17
	CM6426	21	615	4	17
	CM6426S	22	640	4	17
	CM6640	33	640	6	17
	CM7660	50	960	6	17
	CM7880	67	960	8	17
Cogito	CG－906	5	306	2	17
	CG－912	11	306	4	17
	CG－925	21	612	4	17
	PT－912	11	612	2	17
	PT－925	21	612	4	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
Disctron	D−503	3	153	2	17
	D−504	4	215	2	17
	D−506	5	153	4	17
	D−507	5	306	2	17
	D−509	8	215	4	17
	D−512	11	153	8	17
	D−513	11	215	6	17
	D−514	11	306	4	17
	D−518	15	215	8	17
	D−519	16	306	6	17
	D−526	21	306	8	17
Epson	HD850	11	306	4	17
	HD860	21	612	4	17
Fuji	FK301−13	10	306	4	17
	FK302−13	10	612	2	17
	FK302−26	21	612	4	17
	FK302−39	32	612	6	17
	FK303−52	40	615	8	17
	FK305−26	21	615	4	17
	FK305−39	32	615	6	17
	FK305−39R	32 (RLL)	615	4	26
	FK305−58R	49 (RLL)	615	6	26
	FK309−26	20	615	4	17
	FK309−39	32	615	6	17
	FK309−39R	30 (RLL)	615	4	26
Fujitsu	M2225D	21	615	4	17
	M2225DR	32 (RLL)	615	4	26
	M2226D	30	615	6	17
	M2226DR	49 (RLL)	615	6	26
	M2227D	40	615	8	17
	M2227DR	65	615	8	26
	M2230AS	5	320	2	17
	M2230AT	5	320	2	17
	M2231	5	306	2	17
	M2233AS	11	320	4	17
	M2233AT	11	320	4	17
	M2234AS	16	320	6	17
	M2235AS	22	320	8	17
	M2241AS	25	754	4	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	M2242AS	43	754	7	17
	M2243AS	68	754	11	17
	M2243R	110 (RLL)	1186	7	26
	M2243T	68	1186	7	17
Hitachi	DK301－1	10	306	4	17
	DK301－2	15	306	6	17
	DK502－2	21	615	4	17
	DK511－3	30	699	5	17
	DK511－5	42	699	7	17
	DK511－8	67	823	10	17
	DK521－5	42	823	6	17
IMI	5006	5	306	2	17
	5007	5	312	2	17
	5012	10	306	4	17
	5018	15	306	6	17
	7720	21	310	4	17
	7740	43	315	8	17
Kalok	KL320	21	615	4	17
	KL330	32 (RLL)	615	4	26
Kyocera	KC20	21	615	4	17
	KC30	32 (RLL)	615	4	26
Lapine	3522	10	306	4	17
	LT10	10	615	2	17
	LT20	20	615	4	17
	LT200	20	614	4	17
	LT300	32 (RLL)	614	4	26
	LT2000	20	614	4	17
	Titan 20	21	615	4	17
	Titan 30	32 (RLL)	615	4	26
	Titan 3532	32 (RLL)	615	4	26
Maxtor	XT1050	38	902	5	17
	XT1065	52	918	7	17
	XT1085	68	1024	8	17
	XT1105	82	918	11	17
	XT1120R	104 (RLL)	1024	8	26
	XT1140	116	918	15	17
	XT2085	72	1224	7	17
	XT2140	113	1224	11	17
	XT2190	159	1224	15	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
Memorex	310	2	118	2	17
	321	5	320	2	17
	322	10	320	4	17
	323	15	320	6	17
	324	20	320	8	17
	450	10	612	2	17
	512	25	961	3	17
	513	41	961	5	17
	514	58	961	7	17
Micropolis	1302	20	830	3	17
	1303	34	830	5	17
	1304	41	830	6	17
	1323	35	1024	4	17
	1323A	44	1024	5	17
	1324	53	1024	6	17
	1324A	62	1024	7	17
	1325	71	1024	8	17
	1333	34	1024	4	17
	1333A	44	1024	5	17
	1334	53	1024	6	17
	1334A	62	1024	7	17
	1335	71	1024	8	17
Microscience	4050	45	1024	5	17
	4060	68 (RLL)	1024	5	26
	4070	62	1024	7	17
	4090	95 (RLL)	1024	7	26
	HH312	10	306	4	17
	HH315	21	612	4	17
	HH330 (RLL)	33	612	4	26
	HH612	10	612	2	17
	HH712A	10	612	2	17
	HH725	21	612	4	17
	HH738	33 (RLL)	612	4	26
	HH825	21	612	4	17
	HH830	33	612	4	26
	HH1050	45	1024	5	17
	HH1060	66 (RLL)	1024	5	26
	HH1075	62	1024	7	17
	HH1080	95 (RLL)	1024	7	26

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	HH1090	80	1314	7	17
	HH1095	95 (RLL)	1024	7	26
	HH1120	122	1314	7	26
	HH2012	10	306	4	17
Miniscribe	1006	5	206	2	17
	1012	10	306	4	17
	2006	5	306	2	17
	2012	10	306	4	17
	3006	5	306	2	17
	3012	10	612	2	17
	3053	44	1024	5	17
	3085	71	1170	7	17
	3212	10	612	2	17
	3412	21	615	4	17
	3425	21	615	4	17
	3438	32 (RLL)	615	4	26
	3650	42	809	6	17
	3675	63 (RLL)	809	6	26
	4010	8	480	2	17
	4020	17	480	4	17
	5330	25	480	6	17
	5338	32	612	6	17
	5440	32	480	8	17
	5451	43	612	8	17
	6032	26	1024	3	17
	6053	44	1024	5	17
	6074	62	1024	7	17
	6079	68 (RLL)	1024	5	26
	6085	71	1024	8	17
	6128	110 (RLL)	1024	8	26
	6212	10	612	2	17
	7426	21	612	4	17
	8225	20 (RLL)	771	2	26
	8225C	21	798	2	26
	8412	10	306	4	17
	8425	21	615	4	17
	8434F	32 (RLL)	615	4	26
	8438	32 (RLL)	615	4	26
	8450	41 (RLL)	771	4	26

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	8450C	40	748	4	26
Mitsubishi	MR521	10	612	2	17
	MR522	20	612	4	17
	MR533	25	971	3	17
	MR535	42	977	5	17
	MR535R	65 (RLL)	977	5	17
MMI	M106	5	306	2	17
	M112	10	306	4	17
	M125	20	306	8	17
	M212	10	306	4	17
	M225	20	306	8	17
	M306	5	306	2	17
	M312	10	306	4	17
	M325	20	306	8	17
NEC	M5012	10	306	4	17
	D3126	20	615	4	17
	D3142	42	642	8	17
	D3146H	40	615	8	17
	D5114	5	306	2	17
	D5124	10	309	4	17
	D5126	20	612	4	17
	D5127H	32 (RLL)	612	4	26
	D5146	40	6115	8	17
	D5147H	65 (RLL)	615	8	26
	D5452	71	823	10	17
Newbury Data	NDR320	21	615	4	17
	NDR340	42	615	8	17
	NDR360	65 (RLL)	615	8	26
	NDR1065	55	918	7	17
	NDR1085	71	1025	8	17
	NDR1105	87	918	11	17
	NDR1140	119	918	15	17
	NDR2085	74	1224	7	17
	NDR2140	117	1224	11	17
	NDR2190	160	1224	15	17
Okidata	OD526	31 (RLL)	612	4	26
	OD540	47 (RLL)	612	6	26
Olivetti	HD662／11	10	612	2	17
	HD662／12	20	612	4	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	XM5210	110	612	4	17
Otari	C214	10	306	4	17
	C507	5	306	2	17
	C514	10	306	4	17
	C519	15	306	6	17
	C526	10	306	8	17
Panasonic	JU－116	20	615	4	17
	JU－128	42	733	7	17
Priam	502	46	755	7	17
	504	46	755	7	17
	514	117	1224	11	17
	519	160	1224	15	17
	3504	44	771	5	17
	ID20	26	987	3	17
	ID40	43	987	5	17
	ID45	50	1166	5	17
	ID45H	44	1024	5	17
	ID60	59	1018	7	17
	ID62	62	1166	7	17
	ID75	73 (RLL)	1166	5	25
	ID100	103 (RLL)	1166	7	25
	ID130	132	1224	15	17
	ID230	233 (RLL)	1224	15	25
	V130R	39 (RLL)	987	3	26
	V150	422	987	5	17
	V160	50	1166	5	17
	V170	60	987	7	17
	V170R	91 (RLL)	987	7	26
	V185	71	1166	7	17
	V519	159	1224	15	17
Quantum	Q510	8	512	2	17
	Q520	18	512	4	17
	Q530	27	512	6	17
	Q540	36	512	8	17
Rodime	RO101	3	192	2	17
	RO102	6	192	4	17
	RO103	9	192	6	17
	RO104	12	192	8	17
	RO201	5	321	2	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	RO201E	11	640	2	17
	RO202	11	321	4	17
	RO202E	22	640	4	17
	RO203	16	321	6	17
	RO203E	33	640	6	17
	RO204	22	320	8	17
	RO204E	44	640	8	17
	RO251	5	306	2	17
	RO252	10	306	4	17
	RO3045	37	872	5	17
	RO3055	45	872	6	17
	RO3060R	49 (RLL)	750	5	26
	RO3065	53	872	7	17
	RO3075R	59 (RLL)	750	6	26
	RO3085R	69 (RLL)	750	7	26
	RO5065	53	1224	5	17
	RO5090	74	1224	7	17
	RO5130R	114 (RLL)	1224	7	26
Seagate Technology	ST124	21	615	4	17
	ST125	21	615	4	17
	ST138	32	615	6	17
	ST138R	33 (RLL)	615	4	26
	ST1511	43	977	5	17
	ST157R	49 (RLL)	615	6	26
	ST206	5	306	2	17
	ST212	110	306	4	17
	ST213	10	615	2	17
	ST225	21	615	4	17
	ST225R	21 (RLL)	667	2	31
	ST238R	32 (RLL)	615	4	26
	ST250R	42 (RLL)	667	4	31
	ST2511	43	820	6	17
	ST252	43	820	6	17
	ST253	43	989	5	17
	ST277R	65 (RLL)	820	6	26
	ST278R	65 (RLL)	820	6	26
	ST279R	65 (RLL)	989	5	26
	ST406	5	306	2	17
	ST412	10	306	4	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	ST419	15	306	6	17
	ST506	5	153	4	17
	ST11100	83	1072	9	17
	ST1106R	911 (RLL)	977	7	26
	ST1150R	128 (RLL)	1072	9	26
	ST4026	21	615	4	17
	ST4038	311	733	5	17
	ST4051	42	977	5	17
	ST4085	71	1024	8	17
	ST4086	72	925	9	17
	ST4096	80	1024	9	17
	ST4097	80	1024	9	17
	ST4135R	115 (RLL)	960	9	26
	ST4144R	123 (RLL)	1024	9	26
Shugart	SA604	5	160	4	17
	SA606	7	160	6	17
	SA607	5	306	2	17
	SA612	10	306	4	17
	SA706	6	320	2	17
	SA712	10	320	4	17
Syquest	SQ225F	20	615	4	17
	SQ306F	5	306	2	17
	SQ306R	5	306	2	17
	SQ306RD	5	306	2	17
	SQ312	10	615	2	17
	SQ312RD	10	615	2	17
	SQ312F	20	612	4	17
	SQ319	10	612	2	17
	SQ325	20	612	4	17
	SQ325F	20	615	4	17
	SQ338F	30	615	6	17
	SQ340AF	38	649	6	17
Tandon	TM244	41 (RLL)	782	4	26
	TM246	62 (RLL)	782	6	26
	TM251	5	306	2	17
	TM252	10	306	4	17
	TM261	10	615	2	17
	TM262	21	615	4	17
	TM262R	20 (RLL)	782	2	26

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	TM264	41 (RLL)	782	4	26
	TM344	41 (RLL)	782	4	26
	TM346	62 (RLL)	782	6	26
	TM361	10	615	2	17
	TM362	21	615	4	17
	TM362R	20 (RLL)	782	2	26
	TM364	41 (RLL)	782	4	26
	TM501	5	306	2	17
	TM502	10	306	4	17
	TM503	15	306	6	17
	TM602S	5	153	4	17
	TM603S	10	153	6	17
	TM603SE	21	230	6	17
	TM702	20 (RLL)	615	4	26
	TM702AT	8	615	4	17
	TM703	10	733	5	17
	TM703AT	31	733	5	17
	TM705	41	962	5	17
	TM755	43	981	5	17
	TM3085	71	1024	8	17
	TM3085R	104 (RLL)	1024	8	26
Teac	SD150	10	306	4	17
	SD510	10	306	4	17
	SD520	20	615	4	17
Toshiba	MK53FA／B	43	830	5	17
	MK53FA／B	64 (RLL)	830	5	26
	MK54FA／B	60	830	7	17
	MK54FA／B	90 (RLL)	830	7	26
	MK56FA／B	86	830	10	17
	MK56FA／B	129 (RLL)	830	10	26
	MK134FA	44	733	7	17
Tulin	TL213	10	640	2	17
	TL226	22	640	4	17
	TL238	22	640	4	17
	TL240	33	640	6	17
	TL258	33	640	6	17
	TL326	22	640	4	17
	TL340	33	640	6	17

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
Vertex	V130	26	987	3	17
	V150	43	987	5	17
	V170	60	987	7	17
Western Digital	WD262	20	615	4	17
	WD344R	40 (RLL)	782	4	26
	WD362	20	615	4	17
	WD382R	20 (RLL)	782	2	26
	WD383R	30 (RLL)	615	4	26
	WD384R	40 (RLL)	782	4	26
	WD544R	40 (RLL)	782	4	26
	WD582R	20 (RLL)	782	2	26
	WD583R	30 (RLL)	615	4	26
	WD584R	49 (RLL)	782	4	26
ESDI インターフェイス					
Atasi	AT－676	765	1632	15	54
	AT－6120	1051	1925	15	71
Control Data	94156－48	40	925	5	17
	94156－67	56	925	7	17
	94156－86	72	925	9	17
	94166－101	84	969	5	34
	94166－141	118	969	7	34
	94166－182	152	969	9	34
	94186－265	221	1412	9	34
	94186－324	270	1412	11	34
	94186－383	319	1412	13	34
	94186－383H	319	1224	15	34
	94186－383S	338	1412	13	36
	14186－442	368	1412	15	34
	94186－442H	368	1412	15	34
	94196－383	338	1412	13	34
	94196－766	664	1632	15	54
	94211－106	89	1024	5	34
	94246－182	160	1453	4	54
	94246－383	338	1747	7	54
	94316－111	98	1072	5	36
	94316－136	120	1268	5	36
	94316－155	138	1072	7	36
	94316－200	177	1072	9	36
	94356－111	98	1072	5	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	94356－155	138	1072	7	36
	94356－200	177	1072	9	36
Century Data	CAST 10203E	55	1050	3	35
	CAST 10304E	75	1050	4	35
	CAST 10305E	94	1050	5	35
	CAST 14404E	114	1590	4	35
	CAST 14405E	140	1590	5	35
	CAST 14406E	170	1590	6	35
	CAST 24509E	258	1599	9	35
	CAST 24611E	315	1599	11	35
	CAST 24713E	372	1599	13	35
Fujitsu	M2246E	172	823	10	35
	M2247E	143	1243	7	64
	M2248E	224	1243	11	64
	M2249E	305	1243	15	64
	M2261E	326	1658	8	53
	M2262E	448	1658	11	48
	M2263E	675	1658	15	53
Hewlett－Packard	HP－97544E	340	1457	8	57
	HP－97548E	680	1457	16	57
	HP－97556E	681	1680	11	72
	HP－97558E	1048	1962	15	72
	HP－97560E	1374	1962	19	72
	HP－D1660A	333	1457	8	57
	HP－D1661A	667	1457	116	57
Hitachi	DK512－8	67	823	5	34
	DK512－12	94	823	7	34
	DK512－17	134	823	10	34
	DK514－38	330	903	14	51
	DK515－78	693	1361	14	69
	DK522－10	103	823	6	36
Maxtor	P1－08E	969	1778	9	72
	P1－12E	1051	1778	15	72
	P1－13E	1160	1778	15	72
	P1－16E	1331	1778	19	72
	P1－17E	1470	1778	19	72
	XT4170E	157	1224	7	35
	XT4175E	149	1224	7	34
	XT4179E	158	1224	7	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	XT4230E	203	1224	9	35
	XT4280E	234	1224	1	34
	XT4380E	338	1224	15	35
	XT8380E	360	1632	8	54
	XT8610E	541	1632	12	54
	XT8800E	694	1274	15	71
Micropolis	1352	30	1024	2	36
	1352A	41	1024	3	36
	1353	75	1024	4	36
	1353A	94	1024	5	36
	1354	113	1024	6	36
	1354A	132	1024	7	36
	1355	151	1024	8	36
	1516－10S	678	1840	10	72
	1517－13	922	1925	13	72
	1518－14	993	1925	14	72
	1518－15	1064	1925	15	72
	1538－15	872	1925	15	71
	15511	149	1224	7	34
	1554－7	158	1224	7	36
	1554－11	234	1224	11	34
	1555－8	180	1224	8	36
	1555－9	203	1224	9	36
	1555－12	255	1224	12	34
	1556－10	226	1224	10	36
	1556－11	248	1224	11	36
	1556－13	276	1224	13	34
	1557－12	270	1224	12	36
	1557－13	293	1224	13	36
	1557－14	315	1224	14	36
	1557－15	338	1224	15	36
	1566－11	496	1632	11	54
	1567－12	541	1632	12	54
	1567－13	586	1632	13	54
	1568－14	631	1632	14	54
	1568－15	676	1632	155	54
	1652－4	92	1249	4	36
	1653－5	115	1249	5	36
	1654－6	138	1249	6	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	1654－7	161	1249	7	36
	1663－4	197	1780	4	36
	1663－5	246	1780	5	36
	1664－6	295	1780	6	54
	1664－7	345	1780	7	54
Microscience	5040	46	855	3	35
	5070	77	855	5	35
	5070－20	86	960	5	35
	5100	107	855	7	35
	5100－20	120	960	7	35
	FH2777	688	1658	15	54
	FH21200	1062	1921	15	72
	FH21600	1418	2147	15	86
	HH2120	128	1024	7	35
	HH2160	160	1276	7	35
Miniscribe	3085E	72	1270	3	36
	3130E	112	1250	5	36
	3180E	157	1250	7	36
	6170E	130	1024	8	36
	9000E	338	1224	15	36
	9230E	203	1224	9	36
	9380E	338	1224	15	36
	9424E	360	1661	8	54
	97803	676	1661	15	54
Mitsubishi	MR5301E	65	977	5	26
NEC	D3661	118	915	7	36
	D5652	143	823	10	34
	D5655	153	1224	7	35
	D5662	319	1224	15	34
	D5681	664	1663	15	53
Newbury Data	NDR4170	149	1224	7	34
	NDR4175	157	1224	7	36
	NDR4380	338	1224	15	36
Priam	617	153	1225	7	36
	623	196	752	15	34
	628	241	1225	11	36
	630	319	1224	15	34
	638	329	1225	15	36
	ID120	121	1024	7	33

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	ID150	159	1276	7	35
	ID160	158	1225	7	36
	ID250	248	1225	11	36
	ID330	338	1225	15	36
	ID330E	336	1218	15	36
Rodime	RO5075E	65	1224	3	35
	RO5125E	109	1224	5	35
	RO5180E	153	1224	7	35
Seagate Technology	ST1111E	98	1072	5	36
	ST1156E	138	1072	7	36
	ST1201E	177	1072	9	36
	ST2106E	92	1024	5	36
	ST2182E	160	1452	4	54
	ST2383E	337	1747	7	54
	ST4182E	160	969	9	36
	ST4383E	338	1412	12	36
	ST4384E	338	1224	15	36
	ST4442E	390	1412	15	36
	ST4766E	676	1032	15	54
	ST4767E	676	1399	15	63
	ST4769E	691	1552	15	53
Seimens	1200	174	1216	8	35
	1300	261	1216	12	35
	4410	322	1100	11	52
	5710	655	1224	15	48
	5810	688	1658	15	54
Toshiba	MK153FA	74	830	5	35
	MK154FA	104	830	7	35
	MK156FA	148	830	10	35
	MK250FA	382	1224	10	35
	MK355FA	459	1632	9	53
	MK358FA	765	1632	15	53
	MK556FA	152	830	10	35
ATA インターフェイス					
Area	A120	124	1024	4	60
	A180	181	1488	4	60
	MD−2060	61	1024	2	60
	MD−2080	80	1323	2	60
Control Data	94204−65	65	948	5	26

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	94204－71	71	1032	5	26
	94204－74	65	948	5	26
	94204－81	71	1032	5	26
	94208－75	60	969	5	26
	94244－219	191	1747	4	54
	94244－274	241	1747	5	54
	94244－383	338	1747	7	54
	94246－182	160	1453	4	54
	94246－383	338	1747	7	54
	94314－136	120	1068	5	36
	94354－90	79	1072	5	29
	94354－111	98	1072	5	36
	94354－126	111	1072	7	29
	94354－133	117	1272	5	36
	94354－135	119	1072	9	29
	94354－155	138	1072	7	36
	94354－160	143	1072	9	29
	94354－172	157	1072	9	36
	94354－186	164	1272	7	36
	94354－200	177	1072	9	36
	944354－230	211	1272	9	36
Conner	CP－342	40	805	4	26
	CP－344	43	788	4	26
	CP－2024	21	653	2	32
	CP－2034	32	823	2	38
	CP－2064	64	823	4	38
	CP－2084	85	548	8	38
	CP－2304	209	1348	8	39
	CP－3000	43	976	5	17
	CP－3022	21	622	2	33
	CP－3024	22	636	2	33
	CP－3044	43	1047	2	40
	CP－3102	104	776	8	33
	CP－3104	105	776	8	33
	CP－3111	112	832	8	33
	CP－3114	112	832	8	33
	CP－3184	84	832	6	33
	CP－3204／F	213	683	16	38
	CP－3304	340	659	16	63

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	CP−3364	362	702	16	63
	CP−3504	509	987	16	63
	CP−3554	544	1054	16	63
	CP−4024	22	627	2	34
	CP−4044	43	1104	2	38
	CP−30064	61	762	4	39
	CP−30084	84	526	8	39
	CP−30084E	85	905	4	46
	CP−30104	120	1522	4	39
	CP−30174E	170	903	8	46
	CP−30204	213	683	16	38
Disctec	RHD−20	21	615	2	34
	RHD−60	63	1024	2	60
Fujitsu	M2611T	45	1334	3	33
	M2612T	90	1334	4	33
	M2613T	135	1334	6	33
	M2614T	180	1334	8	33
	M2622T	330	1435	8	56
	M2623T	425	1435	10	56
	M2624T	520	1435	12	56
	M2631T	45	916	2	48
Kalok	KL343	42	676	4	31
	KL3100	105	820	6	35
	KL3120	120	820	6	40
	P5−125	125	2048	2	80
	P5−250	251	2048	4	80
Kyocera	KC40GA	41	1075	2	26
Maxtor	7040A	41	1170	2	36
	7080A	81	1170	4	36
	8051A	43	745	4	28
	LXT−200A	207	1320	7	45
	LXT−213A	213	1320	7	55
	LXT−340A	340	1560	7	47
Micropolis	1743−5	112	1140	5	28
	1744−6	135	1140	6	28
	1744−7	157	1140	7	28
	1745−8	180	1140	8	28
	1745−9	202	1140	9	28
Microscience	7040	47	855	3	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	7070－20	86	960	5	35
	7100	107	855	7	35
	7100－20	120	960	7	35
	7100－21	121	1077	5	44
	7200	201	1277	7	44
	7400	420	1904	8	39
	8040	43	1047	2	40
	8040／MLC	42	1024	2	40
	8080	85	1768	2	47
	8200	210	1904	4	39
Miniscribe	7040A	36	980	2	36
	7080A	72	980	4	36
	8051A	43	745	4	28
	8225AT	21	754	2	28
	8438XT	32	615	4	26
	8450AT	42	745	4	28
	8450XT	42	805	4	26
NEC	D3735	56	1084	2	41
	D3755	105	1250	4	41
	D3761	114	915	7	35
Prairietek	120	21	615	2	34
	240	42	615	4	34
Quantum	PRO 40AT	42	965	5	17
	PRO 80AT	84	965	10	17
	PRO 120AT	120	814	9	32
	PRO 210AT	209	873	13	36
	PRO LPS52AT	52	751	8	17
	PRO LPS80AT	86	616	16	17
	PRO LPS105AT	105	755	16	17
	PRO LPS240AT	235	723	13	51
Rodime	RO3058A	45	868	3	34
	RO3095A	80	923	5	34
	RO3099AP	80	1030	4	28
	RO3121A	122	1207	4	53
	RO3128A	105	868	7	34
	RO3135A	112	923	7	34
	RO3139A	112	523	15	28
	RO3199AP	112	1168	5	28
	RO3209A	163	759	15	28

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	RO3259A	213	990	15	28
	RO3259AP	213	1235	9	28
Samsung	SHD−3101A	105	1282	4	40
Seagate Technology	ST125A	21	404	4	26
	ST138A	32	604	4	26
	ST157A	45	560	6	26
	ST274A	65	948	5	26
	ST280A	71	1032	5	27
	ST325A	21	615	4	17
	ST351A	43	820	6	17
	ST1057A	53	1024	6	17
	ST1090A	79	1072	5	29
	ST1102A	89	1024	10	17
	ST1111A	98	1072	5	36
	ST1126A	111	1072	7	29
	ST1133A	117	1272	5	36
	ST1144A	130	1001	15	17
	ST1156A	138	1072	7	36
	ST1186A	164	1272	7	36
	ST1201A	177	1072	9	36
	ST1239A	211	1272	9	36
	ST1480A	426	1474	9	62
	ST2274A	241	1747	5	54
	ST2383A	338	1747	7	54
	ST3051A	43	820	6	17
	ST3096A	89	1024	10	17
	ST3120A	107	1024	12	17
	ST3144A	131	1001	15	17
Teac	SD340−A	43	1050	2	40
	SD380	86	1050	4	40
Toshiba	MK234FC	106	845	7	35
Western Digital	WD93024	20	782	2	27
	WD93028	20	782	2	27
	WD93034	30	782	3	27
	WD93038	30	782	3	27
	WD93044	40	782	4	27
	WD93048	40	782	4	27
	WD95024	20	782	2	27
	WD95028	20	782	2	27

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	WD95034	30	782	3	27
	WD95044	40	782	4	27
	WD95058	40	782	4	27
	WDAB130	32	733	5	17
	WDAC140	42	980	5	17
	WDAC160	62	1024	7	17
	WDAC280	85	980	10	17
	WDAH260	63	1024	7	17
SCSIインターフェイス					
Control Data	24221−125M	110	1024	3	36
	24221−209M	183	1024	5	36
	94161−101	86	969	5	26
	94161−121	120	969	7	26
	94161−141	140	969	7	26
	94161−155	150	969	9	36
	94161−182	155	969	9	36
	94171−300	288	1365	9	36
	94171−344	335	1549	9	36
	94171−350	300	1412	9	46
	94171−375	375	1549	9	35
	94171−376	330	1546	9	45
	94181−385D	337	791	15	36
	94181−385H	330	791	15	55
	94181−574	574	1549	15	36
	94181−702	601	1546	15	54
	94181−702M	613	1549	15	54
	94191−766	676	1632	15	54
	94191−766M	676	1632	15	54
	94211−91	91	969	5	36
	94211−106	91	1022	5	26
	94211−209	142	1547	5	36
	94221−125	107	1544	3	36
	94221−190	190	1547	5	36
	94221−209	183	1544	5	36
	94241−383	338	1261	7	36
	94241−502	43	1755	7	69
	94351−90	79	1068	5	29
	94351−111	98	1068	5	36
	94351−126	111	1068	7	29

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	94351－128	111	1068	7	36
	94351－133	116	1268	7	36
	94351－133S	116 (SCSI－2)	1268	7	36
	94351－134	117	1068	7	36
	94351－155	138	1068	7	36
	94351－155S	138 (SCSI－2)	1068	7	36
	94351－160	142	1068	9	29
	94351－172	150	1068	9	36
	94351－186S	163 (SCSI－2)	1268	7	36
	94351－200	177	1068	9	36
	94351－200	177 (SCSI－2)	1068	9	36
	94351－230	210	1272	9	36
	94601－767H	665 (SCSI－2)	1356	15	64
	94601－767M	676	1508	15	54
Century Data	CAST 10203S	55	1050	3	35
	CAST 10304S	75	1050	4	35
	CAST 10305S	94	1050	5	35
	CAST 14404S	114	1590	4	35
	CAST 14405S	140	1590	5	35
	CAST 14406S	170	1590	6	35
	CAST 24509S	258	1599	9	35
	CAST 24611S	315	1599	11	35
	CAST 24713S	372	1599	13	35
Conner	CP－340	42	788	4	26
	CP－2020	21	642	2	32
	CP－3020	21	622	2	33
	CP－3040	42	1026	2	40
	CP－3100	105	776	8	33
	CP－3180	84	832	6	33
	CP－3200／F	213	1366	8	38
	CP－30060	61	1524	2	39
	CP－30080	84	1053	4	39
	CP－30100	120	1522	4	39
	CP－30200	213	2119	4	49
Fuji	FK308S－39R	31	615	4	26
	FK308S－58R	45	615	6	26
	FK309S－50R	41	615	4	26
Fujitsu	M2245SA	148	823	10	35
	M2247S	138	1243	7	65

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	M2247SA	149	1243	7	36
	M2247SB	160	1243	7	19
	M2248S	221	1243	11	65
	M2248SA	238	1243	11	36
	M2248SB	252	1243	11	19
	M2249S	303	1243	15	65
	M2249SA	324	1243	15	36
	M2249SB	343	1243	15	19
	M2263HA	672	1658	15	53
	M2266HA	1079	1658	15	85
	M2611SA	45	1334	2	34
	M2612SA	90	1334	4	34
	M2613SA	136	1334	6	34
	M2614SA	182	1334	8	34
	M2622SA	330	1435	8	56
	M2623SA	425	1435	10	56
	M2624SA	520	1435	12	56
Hewlett−Packard	HP−97544S	331	1447	8	56
	HP−97544T	331 (SCSI−2)	1447	8	56
	HP−97548S	663	1447	16	56
	HP−97548T	663 (SCSI−2)	1447	16	56
	HP−97549T	1000 (SCSI−2)	1911	16	64
	HP−97556T	673 (SCSI−2)	1670	11	72
	HP−97558T	1075 (SCSI−2)	1952	15	72
	HP−97560T	1363 (SCSI−2)	1952	19	72
	HP−C2233S	238 (SCSI−2)	1511	5	49
	HP−C2234S	334 (SCSI−2)	1511	7	61
	HP−C2235S	429 (SCSI−2)	1511	9	73
Hitachi	DK512C−8	67	823	5	34
	DK512C−12	94	823	7	34
	DK512C−17	134	819	10	34
	DK514C−38	321	903	14	51
	DK515−78	661	1261	14	69
	DK522C−10	88	819	6	35
Kalok	KL341	40	644	4	26
Kyocera	KC80C	87	787	8	28
Maxtor	XT81000E	889	1632	15	54
	7040S	40	1155	2	36
	7080S	81	1155	4	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	LXT－50S	48	733	4	32
	LXT－100S	96	733	8	32
	LXT－200S	191	1320	7	33
	LXT－213S	200	1320	7	55
	LXT－340S	340	1560	7	47
	P0－12S	1027	1632	15	72
	P1－08S	696	1778	9	72
	P1－12S	1005	1216	19	72
	P1－17S	1470	1778	19	72
	XT4170S	157	1224	7	36
	XT4280S	241	1224	11	36
	XT4380S	337	1224	15	36
	XT8380S	360	1632	8	54
	XT8702S	616	1490	15	54
	XT8760S	675	1632	15	54
Micropolis	1373	73	1024	4	36
	1373A	91	1024	5	36
	1374	109	1024	6	36
	1374A	127	1024	7	36
	1375	146	1024	8	36
	1488－15	675	1628	15	54
	1528－15	1354 (SCSI－2)	2106	15	84
	1576－11	243	1224	11	36
	1577－12	266	1224	12	36
	1577－13	287	1224	13	36
	1578－14	310	1224	14	36
	1578－15	332	1224	15	36
	1586－11	490	1632	11	54
	1587－12	535	1632	12	54
	1587－13	579	1632	13	54
	1588－14	624	1632	14	54
	1588－15	668	1632	15	54
	1596－10S	668	1834	10	72
	1597－13	909	1919	13	72
	1598－14	979	1919	14	72
	1590－15	1049	1919	15	71
	1673－4	90	1249	4	36
	1673－5	112	1249	5	36
	1674－6	135	1249	6	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	1674－7	158	1249	7	36
	1683－4	193	1776	4	54
	1683－5	242	1776	5	54
	1684－6	291	1776	6	54
	1684－7	340	1776	7	54
	1773－5	112	1140	5	28
	1774－6	135	1140	6	28
	1774－7	157	1140	7	28
	1775－8	180	1140	8	28
	1775－9	202	1140	9	28
Microscience	6100	110	855	7	36
	FH3414	367	1658	8	54
	FH3777	688	1658	15	54
	FH31200	1062	1921	15	72
	FH31600	1418	2147	15	86
	HH3120	121	1314	5	36
	HH3160	169	1314	7	3
Miniscribe	3085S	72	1225	3	36
	3130S	115	1225	5	36
	3180S	153	1225	7	36
	7080S	81	1155	4	36
	8051S	45	793	4	28
	8225S	21	804	2	26
	9000S	347	1220	15	36
	9230S	203	1224	9	36
	9380S	347	1224	15	36
	9424S	355	1661	8	54
	9780S	668	1661	15	54
Mitsubishi	MR535S	65	977	5	26
	MR537S	65	9777	5	26
NEC	D3835	45	1084	2	41
	D3855	105	1250	4	41
	D3861	114	915	7	35
	D5882	665	1633	15	53
	D5892	1404	1678	19	86
Newbury Data	NDR3170S	146	1224	9	26
	NDR3280S	244	1224	15	26
	NDR4380S	319	1224	15	34
Priam	717	153	1225	7	36

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	728	241	1225	11	36
	738	329	1225	15	36
	ID330S	338	1218	15	36
Quantum	Q160	200	971	12	36
	Q250	53	823	4	36
	Q280	80	823	6	36
	PRO 40S	42	965	5	17
	PRO 80S	84	965	10	17
	PRO 120S	120	814	9	32
	PRO 210S	209	873	13	36
	PRO LPS52S	52	751	8	17
	PRO LPS80S	86	616	16	17
	PRO LPS105S	105	755	16	17
	PRO LPS240S	235	723	13	51
Rodime	RO652A	20	306	4	33
	RO652B	20	306	4	33
	RO752A	20	306	4	33
	RO3055T	45	1053	3	28
	RO3057S	45	680	5	26
	RO3058T	45	868	3	34
	RO3085S	70	750	7	26
	RO3088T	76	868	5	34
	RO3090T	75	1053	5	28
	RO3128T	105	868	7	34
	RO3129TS	105	1091	5	41
	RO3130T	105	1053	7	28
	RO3139TP	112	1148	5	42
	RO3199TS	163	1216	7	41
	RO3259T	210	1216	9	41
	RO3259TP	210	1189	9	42
	RO3259TS	210	1216	9	41
	RO5075S	61	1219	3	33
	RRO5078S	61	1219	3	33
	RO5125S	103	1219	5	33
	RO5178S	144	1219	7	33
	RO5180S	144	1219	7	33
Samsung	SHD−3201S	211	1376	7	43
Seagate Technology	ST125N	21	407	4	26
	ST138N	32	615	4	26

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
	ST157N	49	615	6	26
	ST177N	61	921	5	26
	ST225N	21	615	4	17
	ST251N	43	820	4	26
	ST251N−1	43	630	4	34
	ST277N	65	820	6	26
	ST277N−1	65	630	6	34
	ST296N	80	820	6	34
	ST1090N	79	1068	5	29
	ST1096N	80	906	7	26
	ST1111N	98	1068	5	36
	ST1126N	111	1068	7	29
	ST1133NS	116 (SCSI−2)	1268	5	36
	ST1156N	138	1068	7	36
	ST1156NS	138 (SCSI−2)	1068	7	36
	ST1162N	142	1068	9	29
	ST1186NS	163 (SCSI−2)	1268	7	36
	ST1201N	177	1068	9	36
	ST1201NS	177 (SCSI−2)	1068	9	36
	ST1239NS	210 (SCSI−2)	1268	9	36
	ST1400N	331 (SCSI−2)	1476	7	62
	AT1480N	426 (SCSI−2)	1476	9	62
	ST2106N	91	1022	5	36
	ST2125N	107	1544	3	45
	ST2209N	179	1544	5	45
	ST2383N	337	1261	7	74
	ST2502N	435	1755	7	69
	ST4182N	155	969	9	35
	ST4250N	300	1412	9	46
	ST4376N	330	1546	9	45
	ST4385N	330	791	15	55
	ST4702N	601	1546	15	50
	ST4766N	676	1632	15	54
	ST4767N	665 (SCSI−2)	1356	15	64
	ST41200N	1037	1931	15	71
	ST41520N	1352 (SCSI−2)	2102	17	ZBR
	ST41600N	1352 (SCSI−2)	2101	17	75
	ST41650N	1415 (SCSI−2)	2107	15	87
	ST41651N	1415 (SCSI−2)	2107	15	ZBR

メーカー	モデル	容量	シリンダ	ヘッド	セクタ
Seimens	2200	174	1216	8	35
	2300	261	1216	12	35
	4420	334	1100	11	54
	5720	655	1224	15	48
	5820	688	1658	15	54
	6200	1062	1921	15	72
Tandon	TM2085	74	1004	9	36
	TM2128	115	1004	9	36
	TM2170	154	1344	9	36
Teac	SD340S	43	1050	2	40
	SD380−S	86	1050	4	40
Toshiba	MK153FB	74	830	5	35
	MK154FB	104	830	7	35
	MK156FB	148	830	10	35
	MK250FB	382	1224	10	35
	MK232FB	45	845	3	35
	MK233FB	76	845	5	35
	MK234FB	106	845	7	35
	MK355FB	459	1632	9	53
	MK358FB	765	1632	15	53

21.6 ドライブアレイ

ハードディスク1台分の容量では不足した場合、2つの選択がある。つまり、ユーザー側のニーズを変えるか、ディスクを追加接続するかである。しかし、ユーザーのニーズを変えるということは、ユーザーの作業スタイルを変更することである。これは、ディスクからいくつかのファイルを削除してすべてのユーザーファイルへの即時アクセスをやめるとか、データ圧縮へ切り換える、あるいはバックアップファイルと開発中のプロジェクトの中間バージョンの管理を厳しくするといったことなどを意味する。もちろん、ユーザーが作業スタイルを変えることは、老犬に新しい犬小屋の場所を教え込むのと同じぐらい難しい。ネットワークサーバのアプリケーションが今日あるハードディスクの制限記憶容量(1.5Gバイト以上)を超えると、ネットワークサーバにとっては、作業スタイルの全体的な変更となる。例えていえば、あたかも、幼児が散らかした無数の玩具のある遊び部屋を片付けるようなものだ。つまり、使用できる容量が少ないときは、複数のディスクに分散しなければならない。大半のシングルユーザー向けのパーソナルコンピュータの場合、これら複数のドライブは、DOSの下では、それぞれ独立して動作し、個別のドライブ番号(またはドライブ番号のグループ)として扱われる。ソフトウェアを使って、このような複数のドライブシステムを、全体として同じ容量を持つ1つの大きなハードディスクをエミュレートするように、構成することもでもでき

る。DOSが一度に1つのことしか実行できないため、このような解決法が最善のものであるが、しかしこの場合、信頼性と、一瞬の間に重なった多数のユーザーのアクセスに対する最適化が課題となる。これに対して、ディスクをそれぞれ独立して動作させる代わりに、ハードウェアによってディスクをつないでディスクアレイを構成すること、すなわち、RAID（低価格ディスクの冗長連結）という名で知られる方法により、高速性、優れたエラー防止、および信頼性の向上を手に入れることができる。

ドライブアレイの前提は初歩的で、独立したハードディスクを数台組み合わせて大きな仮想システムを1台作るということである。しかし、ドライブアレイは1台のコントローラに接続された複数のハードディスク以上のものである。連結すると、ドライブが調整され、コントローラはドライブ間に情報をよく考えて割り当てる。たとえば、ドライブアレイの中には、各ドライブのスピンが同期され、1データバイトが物理的に別個の複数のハードディスクに展開されるものがある。

ドライブアレイの明らかなメリットは、複数のディスクドライブを導入する場合と同様、容量にある。2台のディスクは1台以上の容量、4台のディスクは2台以上の容量を保持できる。また、ドライブアレイ技術により大容量記憶装置の性能が急速に向上したり、信頼性が向上することもある。

データストライピング

これら2つの技術改良の秘密は、ドライブを連結する際の様々なハードディスクの組み合せ方法にある。この場合ドライブは、1台目の容量が使い切られると2台目がそれを引き継ぐという順に連結されるのではない。代わりに、データはビット、バイト、またはブロック単位でドライブに分割される。たとえば4ドライブシステムでは、各バイトの2ビットは1台目のハードディスクに記録され、次の2ビットは2台目に、という具合である。そして4台のドライブは、1バイトをデータストリームの中へ4倍の速さで送り込むことができる。1バイトすべてを転送するには、ドライブ1台が2ビットを移動させるのと同じ時間しかかからない。あるいは、4バイトの記憶クラスタなら、4台の各ドライブの1セクタを合わせて構成することができる。この複数のドライブでデータを分割するという技術は、**データストライピング**と呼ばれる。

このような初歩的なレベルの場合、データストライピングには重大な欠点がある。システムのいずれかのドライブにトラブルが生じると、システム全体が不良となるということである。ディスクアレイ全体における信頼性は、アレイ内の最も信頼性の低いドライブよりも低いものになってしまうわけだ。このようなシステムは、速度と容量は大きいが、それを使うリスクもまた大きいのである。

冗長性と信頼性

容量の一部を犠牲にすると、ドライブアレイは信頼性を向上させることができ、フォールトトレラントな記憶システムにさえすることができる。そのポイントは冗長性にある。連結された各ドライブが格納するビット、バイト、およびブロックを直線的に分割するのではなく、ドライブ間で分割した情報を重複して記憶させるのである。

たとえば、4台のドライブシステムの場合、各ドライブが1バイトについて2ビットずつ取得する代わりに、それぞれ4ビットずつ格納する。つまり、1番目のドライブは1バイトの上位4ビットを、2番目のドライブは3、4、5、6番目のビットを、3番目のドライブは5、6、7、8番目のビットを、4番目のドライブは7、8、1、2番目のビットをそれぞれ格納する。こうすれば、あるドライブにエラーが発生しても、別のドライブから正確な情報を引き出すことができる。1台のハードディスクが完全にだめになっても、そのドライブが格納していたすべてのデータを別のドライブから再構築することができるのだ。

このようなシステムはフォールトトレラントであるといわれる。1つのフォールトは許容される、つまり、1台のハードディスクに障害が発生しても、システムは必要な機能を損なうことなく動作するということである。フォールトトレラントであるということは、ネットワークアプリケーションにおいて非常に価値がある。1台のハードディ

スクに発生したトラブルがネットワーク全体に広がらないからである。装置に大きなトラブルが生じても、惨事には至らず、迷惑程度でおさまるのである。

ここで示した例は、非常に原始的なドライブアレイで、使用できる記憶用のリソースをかなり浪費している。実際には、高度な情報の符号化により、すべてのビットを厳密に重複させる必要がなくなり、記憶装置の効率を高めることができる。その上、高度なドライブアレイでは、通常の動作を中断することなく、トラブルの生じたドライブを交換し、そのドライブに格納されていたデータを再構築することさえできる。このようなドライブアレイが導入されたネットワークサーバは、ディスクを修理するときでさえシャットダウンする必要はない。

RAIDの実現方法

4台のドライブをSCSIコントローラに接続するだけでは、ドライブアレイにはならない。アレイには個々のドライブのデジタルコーディングと制御とを処理する特別な制御回路が必要である。このようなシステムの制御回路はそのメーカーに所有権が帰属している。アレイコントローラは、専用のインターフェイスまたは標準インターフェイスを経由してパーソナルコンピュータに接続されるが、SCSI接続の選択される割合が最も多くなりつつある。現在は、ほとんどのドライブアレイはコンピュータメーカーによって自社のシステム用に組み立てられているが、パーソナルコンピュータへプラグ接続できるドライブアレイも多くなってきている。

RAID技術では、RAID 1から5までの5つのレベルが知られている（エンジニアがRAID 0という言葉を使用することもあるが、これは連結されていない普通の単独のディスクドライブのことである）。

数字の部分は任意に付けられたもので、RAID 1がRAID 5より優れるとかあるいは劣っているという意味ではない。どれが最も適当かは、ユーザーがドライブアレイで何を行いたいかによって決まる。つまり、ドライブ容量を効率的に使う、ドライブ数を少なくする、信頼性を高める、速度を高めるなど、ユーザーがいずれを求めるかで変わるわけだ。たとえば、RAID 1では優れた冗長性（すなわち信頼性）が、RAID 2では最高の速度が得られる。数字はそれぞれの技術についてすぐにどれがどの方法かわかるようにした呼び名に過ぎない。

■RAID 1

最も単純なドライブアレイがRAID 1であり、これは、互いが鏡のように相手を映すまったく同じ容量の2台のディスクで構成される。1台のディスクがもう1台のすべてのファイルを複写し、実質的にバックアップコピーとして働くわけだ。1台のドライブにトラブルが生じた場合、もう1台が代役の働きをする。

この信頼性がRAID 1技術の第一の長所である。システム全体は1台のドライブと同じ容量を持つ。要するに、RAID 1システムは本来使用可能な記憶容量の50%しか使用できず、この点では連結方法の中で最も高くつくといえる。性能はアレイコントローラの精巧さで決まる。単純なシステムでは連結されたドライブのいずれか一方の性能と同じになる。もっと高度なコントローラでは、同時に2台のドライブから交互にセクタを読み取ることにより、データのスループットを2倍にすることができる。1台のドライブにトラブルが発生した場合、性能は1台の場合のドライブの性能に戻るが、情報（およびネットワークの運用時間）を失うことはない。

■RAID 2

連結の精巧さにおいて次の段階にあるのがRAID 2で、これは、先のドライブアレイの節で述べたように、データのビットまたはブロックをインターリーブするものである。アレイ内の独立したドライブは、通常スピンドルを同期させてパラレルに動作する。

信頼性を向上させるために、RAID 2システムでは冗長性を持たせたディスクを使用して、シングルビットエラーの修正およびダブルビットエラーの検出を行う。必要となる追加ディスクの数は使

用されるエラー修正アルゴリズムで決まる。たとえば、8台のデータドライブを持つディスクアレイなら、3台のエラー修正ドライブを使用する。ハイエンドな32台のデータドライブアレイは、7台のエラー修正ドライブを使用する。エラー検出コードが付いたデータは、アレイコントローラに直接送られ、コントローラはただちにエラーを認識し、発生したエラーを修正する。この場合、情報の読み取りとホストコンピュータへの転送による速度の遅れはない。RAID 2の設計は、ディスクエラーが頻繁に、ほとんど定期的に発生することを前提としてしている。しかし、確かに、過去には大容量記憶装置はエラー発生率が高かったが、現在ではそういうことはなく、RAID 2はかなり厳しい使用状況を除けば、不必要なものになりつつある。

RAID 2の大きな長所は性能にある。RAID 2およびRAID 3は、本格的なパラレル動作を行っているため、少なくとも単一で高速のデータのストリームを要求するシステムにとっては、最高性能の連結技術である。要するに、高いデータ転送速度が得られるのである。連結するドライブの数により異なるが、1ドライブが1ビットを読み取るのに要するのと同じ時間で、バイト全体または32ビットダブルワードでさえ読み取ることができる。RAID 2は動作中にエラー修正できるので、通常のシングルビットのディスクエラーで性能が落ちることはない。

これに対して、RAID 2の欠点は、基本的な格納単位が複数のセクタであるという点に原因がある。ほかのハードディスクと同様、アレイ内の各ドライブが格納できる最小単位は1セクタである。ファイルは各ドライブから1セクタずつ使用するため、そのサイズは数セクタ（ドライブ台数と同じ数）単位で大きくなってしまう。たとえば10ドライブアレイでは、わずか2バイトファイルでも10セクタ（5,120バイト）のディスクスペースを必要とするのである（DOSでは、4セクタのクラスタを使うため、2バイトファイルは合計で20,480バイトを占有することになる）。とはいえ、実際のアプリケーションでは、この欠点は重大ではない。なぜなら、単一ストリーム速度とRAID 2の即時エラー修正を必要とするシステム、たとえばメインフレームなども、エラー修正は大きなファイルを使用する傾向にあるからだ。

■ RAID 3

RAID 3はRAID 2からレベルが1つ下がる。しかしRAID 3でも、パラレルに動作する複数のドライブを使用し、データのビットまたはブロックをインターリーブすることには変わりない。ただし、完全なエラー修正の代わりに、RAID 3ではパリティチェックしか行わない。これは、エラーは検出できるが、回復の保証はないということである。

パリティチェックのみにするとアレイに追加するドライブの数が少なくてすむ。通常はアレイごとに1台だけあればよく、比較的安価ですむ。パリティエラーが検出された場合、RAID 3コントローラはアレイ全体を正しく読み取るために再度読み取りを行う。この再読み取りによって性能上かなりの不利益が生じる。ディスクはもう一度回転しなければならず、データ読み取り時に17ミリ秒の遅れが生じることになるのだ。もちろん、この遅延は、ディスクエラーが検出された場合にしか発生しない。さらに、最近のハードディスクは信頼性が高いため、このような遅延はまれなものになっている。実際、RAID 3はRAID 2と比べた場合、めったに発生することがないわずかな性能上の不利益を許容するだけで、ドライブ数を少なくできるというメリットがあるのだ。

■ RAID 4

RAID 4では、ビットやブロックではなくセクタをインターリーブする。アレイ内のドライブは、機能的にはたくさんのヘッドとプラッタを持った1台の大きなドライブであるかのように、セクタが順次読み取られていく（もちろん、性能を上げるために、適切なバッファ機能を持つコントローラが、2つ以上のセクタを同時に読み取り、後のセクタをいったん高速RAMに格納し、前のセクタがホストに送られた後で直ちに転送している）。信頼性向上のため、アレイ内の1台のドライブはパリティチェック用に使用される。RAID 4は、2

ドライブ程度の小さなアレイが可能であるという点が好まれて使用されているが、実際、規模の大きいディスクアレイの方が、利用できるディスク記憶領域を効果的に使うことができる。

専用のパリティドライブが、RAID 4構造の最大の欠点である。RAID 4の場合、書き込みの際は、データドライブを読み取り、パリティ情報を更新し、更新された情報をパリティドライブへ書き込んで、パリティドライブを維持している。このように、書き込みを行うたびに読み取り、更新、書き込みが繰り返されるため、速度の点では不利益が生じるが、これで読み取り動作が妨げられることはない。

RAID 4では複数のデータ要求を同時に処理できるオペレーティングシステムには、特に利点がある。インテリジェントなRAID 4コントローラでは複数の入出力要求を処理、認識し、最も効率のよい方法でドライブを読み取る。恐らく読み取りはパラレルでも行われ、たとえば、あるファイルのセクタをドライブから読み取る一方で、同時に別のファイルのセクタを別のドライブから読み取ることもできる。このようなパラレル動作によって、このタイプのオペレーティングシステムのスループットを向上させることができる。

■ RAID 5

RAID 5は、RAID 4から専用パリティドライブを除き、パリティチェック機能がアレイ内の様々なドライブに点在することを可能にしたものである。エラーチェックはアレイ内のすべてのディスクに渡って行われる。適切に設計されていれば、十分な冗長性が組み込まれているため、システムをフォールトトレラントにすることができる。

RAID 5は、恐らく現在使用されている中で最も人気のあるドライブアレイ技術である。その理由は、最低2台からどのような数のドライブでも連結させて動作させることができ、さらにその中で冗長性とフォールトトレラントを実現できるからである。

21.7 ドライブのパッケージ

ハードディスクの場合、ユーザーは、ハードウェアの名人になって取り付けたい場所にうまく合わせる方法を考え出す必要はない。実際、ドライブの形状が小さくなるにつれて、そのような問題を考慮する心配はなくなった。そしてドライブ取り付けの問題は、小さなドライブを以前の大型サイズのドライブベイにうまく取り付けるという問題に変った。しかし、ドライブの取り付けは物理的にそう簡単なものではない。今日では、2台目(または3台目以降)のドライブは、拡張し切ったパーソナルコンピュータの限界の中に押し込まなければならなくなっている。さらに、問題は、ドライブとドライブベイをうまく合わせることだけではない。コントローラやホストアダプタのことも考慮しなくてはならない。また、自分が選んだドライブに必要なだけの電力も確保しなければならない。

内蔵型ハードディスク

まず、ドライブは配置したい場所に収まらなければならない。したがって、ドライブはドライブベイのいずれかに合う形でなければならない。ドライブが小さい場合は、ドライブベイに合わせるためのアダプターキットが必要となる。

ハードディスクの取り付けは、フロッピーディスクドライブと同じである。しかしフロッピーディスクと違って、ハードディスクにはツマミ類やノブがなく、メディアも着脱式ではないため、前面パネルからのアクセスの必要がない。したがって、ハードディスクは完全にコンピュータの中に収めることができ、その際、ディスク前面にあるドライブ動作インジケータのランプが見えなくなるということだけが唯一の弊害となる。小型のデスクトップコンピュータの多くが、まさにこのような

取り付けになっている。1インチの厚さの3.5インチハードディスクドライブ用のスペースは、システム内の適当な場所に1枚の鉄板を折り曲げたベイを付けただけのもので、説明書もしくは十分な想像力がないと、どこに小さいハードディスクが隠れているのかわからない。今日では、ドライブはほんのわずかな量の電力しか消費しないため、ディスクの冷却を考慮した取り付け位置を探す必要はない。

ほとんどのシステムには、現在でもハードディスク装置用として、ハーフハイトの5.25インチベイがある。最近の3.5インチハードディスクドライブの場合、唯一気にしなければならないのは、ドライブを大きなベイにマッチさせるための取り付けキットを用意するか、もしくは、小さなディスクを大きなベイに取り付ける何らかの方法がシステムに用意されているかどうかを確認することである。たとえば、ALRタワー型コンピュータがハードディスクドライブとフロッピーディスクドライブ用に使用するトレイは、アダプタなしで5.25インチと3.5インチドライブのどちらにでも簡単に対応できる。一般にレールを使用してドライブを取り付けるAT方式の筐体の場合では、アダプタが必要になる。ドライブを直接ネジ止めするシステムの場合、ドライブの両側がしっかりネジ止めされなくてもよければ、一応大きいベイに小さなドライブを取り付けることはできる。最初から3.5インチベイ用として設計されているシステムに、古い5.25インチドライブを無理に取り付けようと考えさえしなければ、ドライブ取り付けの問題は何もなさそうである。(3.5インチ用ドライブに5.25インチドライブを取り付ける場合、最も良い方法は丸のこぎりをドライブに当てて数インチ削ることである。こうするとドライブは問題なくドライブにはまる。ただし、この方法ではドライブのアクセスタイムが犠牲になり、ミリ秒単位だったものが数千年もかかるようになる。)

コンピュータ内にディスクを増設するための十分なスペースがない場合、代わりに2つの方法が考えられる。まず、増設する記憶装置が大きい場合は、ディスクドライブをケースの外へ移せばよい。この場合、増設は基本的に無限に行える。ドライブアレイは、複数のハードディスクを使用するため、ほとんどの場合ドライブは外部に設置される。さらに、ISAバスコンピュータの場合は、ハードディスクカードを使用する方法もとることができる。ハードディスクカードは、ディスクドライブベイではなく拡張バススロットに搭載できる専用コントローラと組み合わされた小さなハードディスクである。この外付けディスクとハードディスクカードの2について、以下の節で説明していく。

■ハードディスクの消費電力

消費電力は、ハードディスクの中で最も小さなハードディスクカードも含めて、すべてのハードディスクが抱えている問題である。ハードディスクはプラッタが常時回転しているため、ほぼ瞬時に応答できるわけだが、これには1つだけ欠点がある。つまり、パーソナルコンピュータが読み書きをしていないときでも、プラッタの回転を維持するために常に電力を消費するのである。

旧式のハードディスク、たとえば、AT世代の巨大な5.25インチのフルハイトドライブは、63.5Wの最初のPCや、100Wの互換機などのように、電源の小さなコンピュータにとっては厳しい電力仕様になっていた。これについては、電力が不足す場合は大きな電源に交換することで問題を解決できる。

一方、最近の3.5インチドライブは莫大な電力の一部しか使用しない(ほとんどが10W以下で、5W以下のものも多い)ため、電力不足の問題はめったに起こらない。さらに、135W以上の電源を搭載しているパーソナルコンピュータなら、ディスクの新旧に関係なく、少なくともハードディスク1台分については十分な余裕があるはずである。また、最近のデスクトップパソコンは、多くが200W電源を持ち、かつ最新のハードディスクを搭載しているため、ドライブの消費電力は問題にならない。

電源において起こる可能性のある問題は、ドライブに差し込むコネクタかないということである。多くのシステムでは、完全に拡張を行うにはドライブ用の電源コネクタの数が足りない。新しくハードディスクを注文する前に、手持ちのパーソナル

コンピュータを調べて、新しいドライブに使用できる電源コネクタがあるかどうか確認する必要があるだろう。ない場合は、購入リストにY字ケーブルを追加しなければならない。

Y字ケーブルは、1台のドライブ用の電源コネクタを途中で受けてそれを2つに分割するものである。Y字ケーブルには、1個のオス型ドライブ電源コネクタ（ほとんどのディスクドライブの後部にある電源ジャックのようなもの）と、2個のメス型コネクタ（ドライブ後部にある電源ジャックから取り外したコネクタに合うもの）が付いている。ドライブジャックから外したコネクタをY字ケーブルのオス型プラグに差込み、2個のメス型プラグを2台のディスクドライブに差し込む。

■ ディスクコントローラ

インストールするハードディスクは、使用するコンピュータに外形だけでなく電気的にも適合していなければならない。手持ちのハードディスクコントローラまたはホストアダプタに空きがあればよいが、そうでなければ、2つ目のコントローラ／アダプタをインストールする必要がある。

初期のパーソナルコンピュータの中には特別な問題を抱えているものがある。たとえば、XTのコントローラは2台目のディスクドライブを扱うことができるが、2台のドライブは同一のハードウェアパラメータ（旧式のST506インターフェイスを使う場合を含む）を持つものでなければならない。1台のコントローラでMFMドライブとRLLドライブを一緒に使用することはできない。両方のタイプのドライブがST506インターフェイスを使用していたとしても、RLLコントローラではRLL信号しか得られない。

最近のパーソナルコンピュータとドライブインターフェイスを使うと、これより自由度が増す。ESDIは任意の容量を持つ2台のドライブ（もちろんそのインターフェイスが必要だが）でも使用できる。ATアタッチメントのホストアダプタも同様に柔軟性がある。SCSIホストアダプタを使うと、7台までのドライブが接続でき、7台のドライブはまったく異なるセットアップパラメータを持つことができる。

システムに初めてハードディスクをインストールする場合（何もない状態からシステムを構築する場合など）、またはインターフェイスを変更したい場合（古くなったST506ドライブを低コストのATアタッチメント装置と交換する場合など）、新しいコントローラまたはアダプタが必要になる。この場合、システムの多くは、ハードディスクとフロッピーディスクの制御機能を1枚の拡張ボード上で組み合わせていることを忘れてはならない。このようなコントローラを新しいインターフェイスと取り替える場合は、フロッピーディスク回路が付いたホストアダプタか、独立したフロッピーディスクコントローラボードを用意しなければならない。

外付けハードディスク

外付けシャシーユニットは、簡単にいえば、昔はパーソナルコンピュータに接続できる唯一のハードディスクだった。外付けシャシーユニットは、最初のPCが抱えていた2つの問題、つまり、スペースが十分でないことと電源が十分でないことを解決するものであった。外付けシャシーについて、メーカーがよく口にするもう1つの利点は、パーソナルコンピュータ内で熱を発生しなくてすむことである。さらには、外付けシャシーを使うと、8インチまたはそれ以上のかなり大きなドライブもパーソナルコンピュータで使用できる。このような長所は、トランプのケースよりも少し大きいだけの500Mバイトドライブがある現代では何の意味もないが、外付けドライブは次の理由で今だに生き残っている。まず、ドライブアレイの出現。それから、プラグ接続の融通性とシステム間で移動可能な点。そして、ラップトップパソコンの場合、ハードディスクを増設するにはほかの方法がないことなどである。さらに、外付けドライブをインストールすることで生じる不利益は基本的には何もない。事実上唯一の欠点といえば、ケースと電源のぶん以外にも、余分な費用がかかることである。

ほとんどの場合、外付けドライブはシステムハウスで組み立てられている。システムハウスは、生のディスクドライブ、コントローラ回路、そのほ

か完全なシステムを作るのに必要なハードウェアを購入し、これらを組み立てて1個の手軽なパッケージにする。システムインテグレータは、ディスクドライブの製造元とユーザーの間に介在するもので、本来ユーザーが払うべき価格に自分の利益を足してシステムをユーザーに供給する。ユーザーにとってこういう形態は必ずしも悪いとはいえない。システムインテグレータは完成品を作って、ユーザー側の煩わしさを代行してくれるだけでなく、通常は、最終製品をテストし、品質のレベルをもう一段階上げることによって、ユーザーの心配を取り除いてくれるからである。

現在ある外付けシャシーハードディスクシステムは、ディスクドライブ本体、内蔵電源付きケース、ホストアダプタカードを合わせて完全な大容量記憶装置サブシステムにすることができる。昔の外付けドライブは実際のドライブコントローラ自身をシャシー内に組み込んだもので、パーソナルコンピュータ側で単純なホストアダプタが必要だった。しばらくの間、外付けドライブはコントローラをパーソナルコンピュータ内部に置いていたが、最近のユニットは、外部のボックス内にコントローラを組み込んだ旧式の設計に戻っている。実際、コントローラはハードディスク自身に組み込まれた埋め込み型インターフェイスであり、パーソナルコンピュータのボードは通常のATアタッチメントかSCSIホストアダプタに過ぎない。

いずれにせよ、外付けシャシーは、何らかのタイプのケーブルによってコンピュータと接続される必要がある。この場合、メーカーではFCCのことを考えて、接続ケーブルをできるだけ短くするようにしている。ケーブルが短いと干渉が発生しにくくなるため、FCCの取得が容易になるからだ。しかし、短いケーブルでは、ドライブを好きな場所に配置するという柔軟性にかなりの制約がつくことになる。いやでもユニットをコンピュータの左側に設置しなければならなかったり、場合によってはディスクドライブのおかげで机を並べかえる必要も出てくるかもしれない。

ケーブルは長さに関係なく不都合な点が1つある。コネクタはどの回路においても最も問題が起きやすく、最も障害を起こす箇所の1つであるということだ。

とはいえ、外付けドライブは取り付けが簡単である。ほとんどの場合、ナットやボルト、ネジなどは必要ない。これは、一般に外付けシャシーが完全に組み立てられた状態でユーザーの手元に届くからである。代わりに唯一必要となる作業は、ホストアダプタのプラグをコンピュータの内側にある拡張スロットへ差し込み、外付けシャシーとメーカー側から供給されたケーブル付きのアダプタとをつなぐことである。

ハードディスクカード

1985年、ハードディスクメーカーのQuantum Corporationの数名のディスク技術者は、非常に有望な構想のもと、その開発と促進のために新会社を設立した。Plus Development Corporationである。そのアイデアとはHardCardのことで、これは、基本的には標準サイズの拡張カードに搭載されたハードディスクである。その後、Plus Developmentは引き続きほかの製品も開発していたが、最終的には再びQuantumに吸収された。いずれにしても、そのオリジナルのアイデアは非常に刺激的なものである。すべてが一体化されたHardCardは、ハードディスクのインストール時のハードウェアに関する心配をすべて取り除いた。HardCardはケーブルを必要とせず、インストールには指を傷付けたり、修理費用が1時間で100ドルもかかるデリケートな回路にうっかり触れてしまう心配もない。さらに、HardCardは、新たにディスクを増設するのに使えるドライブベイがないシステムにとってはうってつけであった。最初のHardCardは、日本の大手電気メーカーの松下電器が製造した専用のディスクコントローラと、低電力で薄型の特殊なディスクドライブを使用した。結果的に、HardCardは市販のパーソナルコンピュータ用として最初のIDE製品となった。

最初のHardCardはまずまずの装置だった。容量は10Mバイトで、性能は通常のXTハードディスクと同程度だった。一方価格は、同等の性能および容量を持つ組み立て式のハードディスクシステムの3倍という高価なものだった。その後Plus社は、分離型のハードディスクドライブと同等の

性能を持ち、容量が100Mバイトある製品も開発した。最近のHardCardは、ほかのハードディスクホストアダプタやコントローラと同じ16ビットバスインターフェイスを使用している。尚、今のところ、マイクロチャネル用のハードディスクカードは開発されていない。

最初のHardCardは容量は少なかったとはいえ、現在一般にハードディスクカードと呼ばれる〝拡張ボードに搭載したハードディスク〟というアイデアの実現の可能性を証明するには十分であった。このため、その真似をしたメーカーも何社かあったが、短かめのディスクコントローラを小型のハードディスクにボルトで付けるという簡単なものが多かった。Plus社がスロットにカードを差し込むというコンセプトの特許を積極的に保護した結果、前述の会社の多くは市場から姿を消した。現在ではほとんどすべてのパーソナルコンピュータにはハードディスクが標準装備されており、また、大抵の人は通常のドライブを無理なくインストールできるようになっている、HardCardの特殊なすきま商品としての価値は事実上低くなっている。

とはいえ、HardCardにはそれなりの価値があることには変わりない。HardCardは標準装備のドライブに対する理想的な補足装置であり、手先がまったく無器用な一般の人でも簡単にインストールすることができる。また、HardCardは会社の中の複数のパーソナルコンピュータをセットアップする手段としても便利である。複数のコンピュータにインストールしたいすべてのファイルを1個のHardCardに書き込んで、それを各マシンに順に差し込み、XCOPYコマンドを1回を実行するだけで、すべてのファイル(ファイルの構造でさえも)を各マシンの内蔵ハードディスクに転送することができるのだ。

21.8　ディスクの性能

ハードディスクを購入する場合、多くの人はディスクの性能のことで頭がいっぱいになる。ドライブによって情報を検索し転送する速さに違いがあると思っているからである。厳密にいえばこれは正しいが、実際には、以前に比べてドライブによる差はごくわずかになっており、適切にセットアップされたシステムでは、そのわずかな差もほぼ完全になくなっている。

ハードディスクの性能は、機構に採用されている設計に直接的な関係がある。ヘッドアクチュエータはデータをディスクから検索する速度に一番大きな影響を与え、その次がプラッタの数である。しかし、各メーカーで採用されるヘッドアクチュエータの設計は、最近のハードディスクは厚さの制約があることから、ドライブ1台あたりのプラッタの数と同様、製品による差がなくなっており、このため、速度の差というのもなくなっている。

もっとも、すべてのハードディスクが同じ速度であるというのではない。その違いは、2、3年前のドライブと今のドライブを比較した場合にはっきりする。ハードディスクの速度に関係する問題点を理解すると、この2、3年のこの業界の進歩をよりよく理解でき、またこの先何が改良されていくのかがわかるだろう。

平均アクセス時間

待ち時間という用語はすでに本書でも用いているが、これはディスクの回転が原因で生じるデータ検索時の平均遅延時間のことである。また、ディスク上のある場所に記憶されている内容を見つけ出せという指示をディスクドライブが受け取る時点と、ディスクが実際にその場所を読み書きできる準備が整うまでの間に、どれぐらいの時間が経過するかは、別の要因によっても影響を受ける。この要因とは、読み書きヘッドが1つのシリンダから別のシリンダへ半径方向に移動するときの速度である。この速度は様々な呼び方をされているが、シークタイムと呼ばれることが多い。トラッ

ク間シークタイムは、1つのトラックから次のトラックまでヘッドを移動させるのに要する時間のことである。さらに、平均アクセス時間(平均シークタイム)というものがあり、これは読み書きヘッドが任意のシリンダ(または半径方向のある位置)へ移動するのに要する平均時間を表わしたものである。平均アクセス時間はミリ秒単位で表わされ、短いほどよい。ヘッドアクチュエータ技術の種類、アクチュエータ部分の大きさ、アクチュエータの物理的な力、およびディスク上のデータ域の幅などが、すべて平均アクセス時間に影響する。技術の点では、ボイスコイルアクチュエータのほうがステッパ設計より高速である。また、アクチュエータは軽量であるほど慣性が少なく、加速および停止が速い。アクチュエータのメカニズムが強力だと、非常に鋭敏にヘッド部分を移動させることが可能になる。さらに、情報を保持するディスク上の帯域(バンド)が狭いほど、ヘッドがトラック間の移動に要する距離は短くなる。

実際にアクセス時間はドライブによって10陪以上もの差がでる。旧式の技術のドライブは平均アクセス時間150ミリ秒で応答するのに対し、最新のドライブでは10ミリ秒近くである。デュアルアクチュエータドライブになると、連続した読み取りまたは書き込み要求に必要とされるアクセス時間は事実上除去できる。

結局のところ、平均アクセス時間をどれくらいの長さでよしとするかは、ほとんどは使用するユーザーの気持ち次第である。とはいえ、高速な方が良いことは確かだ。以前は高速のものは高価だったが、今日では価格差はあまりなく、ほとんど問題にならないほどである。様々な製品に対して唯一受け入れられているガイドラインは、IBM仕様である。IBMのパーソナルコンピュータに最初に導入されたハードディスクはXTに搭載されたもので、規定の平均アクセス時間は85ミリ秒だった。次世代のIBMパーソナルコンピュータであるATは、平均アクセス時間40ミリ秒のドライブを搭載していた。

しかし、386およびそれ以降のコンピュータでは、IBM仕様というガイドラインは隅に追いやられている。IBMが様々なコンピュータモデルで様々なアクセス時間を持つドライブを導入したため、どれもガイドラインとしての意味をもたなくなったからである。ATドライブの次の性能レベルは約28ミリ秒で、非常に素晴らしい386ベースマシンの第一世代を生み出した。高速の386マシン(25 MHz以上)や486SXマシンは、20ミリ秒に近い速度で動作するドライブによってさらに優れた性能が引き出される。486DXやより高性能のマイクロプロセッサをベースにしたマシンは、平均アクセス時間が15秒以下のドライブによって本領を発揮できる。

エレベータシーク

進んだディスクコントローラは特にディスクアレイに使用されているが、**エレベータシーク**と呼ばれる技術を使用してヘッドがシーク(捜索)を行うことにより、遅延時間を最小限にしている。異なるトラックへの複数の読み書き要求が発生した場合、コントローラが、シーク時のヘッドの移動が最短になるようにその要求を構成するのである。コントローラはエレベータのように下位番号のトラックから上位番号のトラックの順にシーク要求を並べ替え、次の要求からは逆に上位番号のトラックから先に処理して、下位番号のトラックへと戻っていく。このようにして各々の要求に応じて集められたデータはコントローラに格納され、適切に処理される。

エレベータシークは、データへの複数の要求をほとんど同時に受け付けることで、ドライブシステムの性能を向上させる。ただし、DOSはシングルスレッドのオペレーションシステムであり、1つのシーク要求を満たしてから次の要求をディスクに送り込むという制約があるため、このアクセス加速技術を利用することはできない。一方、ネットワークシステムは多数のシーク要求が同時に発生し得る。エレベータシークは、このようなシステムにおいてディスクアクセス時間を短縮するものである。

データ転送速度

ディスク上でバイトまたはレコードが1つ検出されると、ホストコンピュータに転送される。ア

クセス時間とは別のもう1つのディスクの仕様であるデータ転送速度は、データを処理する、つまり情報がマイクロプロセッサとハードディスク間を往復する速度に影響を与える。ディスクの転送速度は平均アクセス時間から完全に分離した数々の設計要因により左右される。

ここ数年、コンピュータシステムの転送速度を制限する要因は、ホストマイクロプロセッサからディスクインターフェイス、バス、そしてディスクドライブへと移ってきた。たとえば、初期のIBM XTの転送速度の限界は8088マイクロプロセッサ自身によって課されたものであり、情報処理の速さは低速のST506インターフェイスにさえも及ばなかった。386ベースのマシンでようやくディスクとインターフェイスの性能を追い抜くことができたため、ドライブメーカーはディスクシステムのスループットの改善に力を入れ始めた。

転送速度において超えることができない1つの限界に、ハードディスクとホストコンピュータをつなぐインターフェイスのデータ転送速度がある。ドライブはインターフェイスが許容する以上の速度では情報を移動させることはできない。旧式のST506インターフェイスは、現在使用されている中で最も遅い。RLLおよびアドバンスドRLLがこのインターフェイスの速度向上に貢献したが、ATアタッチメントやSCSI、ESDIのほうがより大きな可能性を持っている。

ハードディスクの転送速度は、メガヘルツ(MHz)または1秒あたりのMバイト数(Mバイト/秒、MHzの1/8)で表わす。旧式のST506規格では転送速度は0.625Mバイト/秒となっており、これは、RLLコーディングを使用することで、0.9375Mバイト/秒まで押し上げられる。ESDIの初期のものでは転送速度は1.25Mバイト/秒だが、製品がより高性能になるに伴い、その値は3.125Mバイト/秒まで向上している。ATアタッチメントインターフェイスの場合、8ビット接続を使用すると転送速度は4Mバイト/秒で、16ビット接続を使用すると8Mバイト/秒にできる。本来のSCSI接続では5Mバイト/秒の転送速度が可能だが、Fast SCSI 2でこれを10Mバイト/秒まで押し上げている。16ビット幅SCSI 2がこれに相当し、32ビットワイドSCSI 2では2倍の20Mバイト/秒、そして32ビット幅SCSI 2がFast SCSI 2と結び付くと一気に40Mバイト/秒になる。当然忘れてはいけないのは、ST506およびESDIはデバイスレベルインターフェイスであり、これらを使用したドライブの実際のスループットは低いことである。したがって、ここで示した速度から転送のオーバーヘッドを差し引く必要がある(第20章を参照)。

ほかにもインターフェイスには、転送速度を最高値から減速する要因がある。ホストコンピュータのバスである。ISAバスの最高有効転送速度は8Mバイト/秒で、これより高速なSCSIリンクに制限を与えることになる。EISA接続では速度が33Mバイト/秒と高速だ。旧式のマイクロチャネルでは10Mバイト/秒(10MHzで動作する16ビットバス)と低速だったが、32ビットマイクロチャネル接続では、20MHzで動作し、新しい転送モードでは40Mバイト/秒という高速な転送も可能である。ローカルバス接続はすべて、基本となるディスクインターフェイス転送速度を超えている。

ここで注意しておきたいのは、これらの速度はピーク値であり長時間は持続できないため、バス接続経由の有効転送速度は示された数字より低くなるということである(第6章を参照)。

今日のディスクとバス間のインターフェイスが、ディスク転送速度を妨げることはまれである。ほとんどの場合は、ドライブの構造における物理的要因が転送速度を制限している。主たる制限原因は、ディスクの回転速度とトラック密度(各トラックに512バイトのセクタがいくつあるかということ)の組み合せである。ディスクがより高速に回転し、また、よりトラック密度が高いと、一定時間に読み書きヘッドの下を通り過ぎる情報の量は多くなる。デバイスレベルインターフェイスでは、この生のデータストリームがそのままインターフェイスを介して渡される。回転速度と各トラックの容量から実際のデータ速度が決まるのである。1991年頃に製造されたシステムレベルインターフェイス付きドライブの多くは、デバイスレベルドライブに使用されるメカニズムと同じものを基本にし

ており、インターフェイスが持つ多大な可能性にもかかわらず、実際の処理能力は同じだった。これはアメリカの16車線のハイウェイに、たった3台の車しか走っていないのと同じような状況である。このような理由により、メーカーはデバイスレベルインターフェイスから離れ、新設計（高回転速度、ゾーンビット記録、およびオンディスクキャッシュなど）を使ってシステムレベルインターフェイスドライブの改良に全力を注いだため、実際のスループットは向上しつつある。しかし、多くの高性能インターフェイスの高速転送速度によって、エンジニアにはまたさらに高速化を実現する余地が与えられている。

多くのSCSIハードディスクやホストアダプタの仕様を検討する際に、転送速度として複数の数字を目にすることがある。たとえば、SCSIホストアダプタでは、ディスクからアダプタへの転送速度（5 M／秒）およびアダプタからディスクへの転送速度（20 M／秒または平均33 M／秒）が指定されている。このホストアダプタが性能を高める何らかの機能を備えていなければ、このシステムで出せる値は確実に低いほうの数字である。しかし、ディスクキャッシュ機能があるホストアダプタであれば、アダプタからホストへの転送を高速なほうに近い速度で行える。

セクタインターリーブ

かつてマイクロプロセッサがハードディスク速度を制限していた頃、システムエンジニア達は、ホストとの組み合わせにおいて遅くなってしまうドライブ性能をいかに最適化するかに頭を悩ませていた。この場合、セクタインターリーブが、最高の組み合せを達成する主要な手段だった。しかし、インターリーブはもはや現代のハードディスクにおいては争点ではない。

ハードディスクのセクタインターリーブは、トラック内のセクタの実際の物理的な配置に対する論理的配置の関係である。たとえば、セクタに1から17まで番号を付けたとすると、データはセクタの番号順に順次格納されていく。しかしディスク上では、それらの連続した番号のセクタが物理的に隣合う必要はない。実際のセクタの配置はディスクコントローラにとって意味はない。これは、ディスクコントローラが特定のセクタを検出する場合、ディスク上のセクタの位置を調べるのではなく、セクタID（セクタに割り当てられた番号）を読み取るからである。セクタの論理的位置と物理的位置の間のこのマッピングは、ハードディスクのローレベルフォーマットにより決定される。

セクタインターリーブは、DOSが連続したセクタを読み取る指示を出したときに、ディスクドライブに強制的に一定数のセクタをスキップさせるものである。たとえば、DOSがドライブに1番と2番のセクタを読み取るように指示を出したとする。ハードディスクシステムはセクタ1を読んだ後、ID番号2のセクタを読み取る前に、6つのセクタをスキップする。6つのセクタを読み取らなかったため時間に余裕ができ、この間にホストコンピュータはディスクに追いつくことができるというわけだ。

2つの論理的に連続したセクタについて、始めのセクタの長さと2つのセクタの距離との比率を、**インターリーブファクタ**という。インターリーブを測定するのに使用される長さは1セクタで、比率で表わした場合、インターリーブファクタを表わすのに右側の数字しか使用されないことも多い。つまり、セクタをスキップしないディスクは、インターリーブファクタが1：1または単に1といい、5セクタをスキップするディスクの場合は、インターリーブファクタは1：6または単に6という。

インターリーブは確実にディスクシステムの転送速度を遅くするかのように見えるが、最適なインターリーブは実速度を向上させるのに役立つ。インターリーブが大きすぎたり小さすぎたりすると、速度を低下させることになり、特に、小さすぎるインターリーブ値を設定したほうがその弊害は大きい。たとえば、パーソナルコンピュータが次のセクタを読み取る準備ができていない場合、セクタを読み取るまでにディスクは完全に1回転しなければならず、通常17ミリ秒（3600 rpmの場合）の遅れがでる。パーソナルコンピュータが遅れを取り戻すのに1セクタのスキップで十分だとすると、遅れは1ミリ秒（各トラックは17セクタと仮定）だけである。この場合、適切なインター

リーブを使用すると、インターリーブを使用しないものと比べてディスクシステムが17倍も速く動作することを考えると、最適なインターリーブ値についてはどうしても議論せざるをえない。

ここで注意しておきたいのは、小さすぎるインターリーブファクタより大きいインターリーブに間違えた方がまだ失敗は小さいことである。セクタを1つ余分にスキップすることによる読み取りの遅れは、小さい方を使用したときの17ミリ秒にくらべて大きい方ではたった1ミリ秒ですむ。

小さすぎるインターリーブファクタの使用による弊害は大きいため、IBMはXTおよびATのハードディスク専用のインターリーブファクタの指定では恐らくかなり保守的だったと思われる。XTはインターリーブファクタ6を使用し、ATは3を使用している。これらのシステムでは、低い転送速度でありながらよりよいディスクの性能を得ることが多い。SpinRite(Gibson Research)などの専門のプログラムがあれば、システムのハードディスクに対する最適なインターリーブをユーザーが決めることができる。この場合注意しなければならないのは、インターリーブ1:1が最適に思われる場合でも、実際にそういうことはまれであるということだ。トラックバッファのないハードディスクを使用するATおよび高性能なコンピュータのほとんどは、通常インターリーブファクタ2で最適に動作する。インターリーブは、トラックバッファを持つハードディスク(基本的にシステムレベルインターフェイス(ATアタッチメントとSCSI)を持つ最近のディスクおよびESDIドライブ)では問題にならない。

シリンダスキュー

インターリーブファクタが1:1になるのが最も理想的な状態と考えるかもしれないが、このファクタには問題点もある。ディスクドライブヘッドは、1つのトラックの読み取りを終了した後、次の読み取り動作のために次のトラックに位置を移動する必要がある。ヘッドの移動は機械的なため、どうしてもわずかな時間を要する。わずかな時間といっても、この移動時間中にヘッドは1つのトラックの終わりから次のトラックの始めまで移動を行えるぐらいだから、十分長い時間であり、動作が大幅に遅れることになる。そのため、トラック1つが完全にヘッドの下を通り過ぎて、次のトラックの読み取りを開始するまでに待ち時間が生じる。

この問題は、すべてのトラックの開始位置を同じ半径線に合わせて一直線上に並べないという単純な方法により簡単に解決される。前のトラックの終わりから次のトラックの開始をわずかにずらすことで、ヘッドの移動時間を補償することができる。このように、各トラックおよびシリンダの最初のセクタの始まりが一直線に並ばずに、わずかにスキューしている(斜めにずれている)ことから、この技術を**トラックスキュー**または**シリンダスキュー**という。

トラックバッファ

最近のハードディスクおよびコントローラでは、インターリーブは的外れなものになっている。制御回路(拡張ボード上またはドライブ内に組み込まれている)がトラックバッファ(トラックすべての内容を格納したオンディスクバッファメモリ)を使用して、ホストコンピュータの情報の要求によりうまく対応しているからである。トラックバッファを使用してコントローラに読み取り要求を送った場合、実際に要求された情報量にかかわらずコントローラはディスクトラックすべてを読み取る。2つの連続したセクタから情報が必要な場合、データはディスクの回転には関係ないコントローラバッファから読み出される。トラックバッファシステムのディスクは、1:1のインターリーブで最適に動作する。旧式のESDIドライブを除くほとんどのドライブは、トラックバッファコントローラで動作するよう設計されており、さらに進んだ転送最適化方式さえ使用しているものもある。

ディスクキャッシュ

ハードディスクシークにおける機械的作業からパーソナルコンピュータを解放する究極の手段は、**ディスクキャッシュ**である。読み取り要求(または書き込みキャッシュをサポートしているシステムの書き込み要求)の対象データがキャッシュ内に格

納されていた場合、キャッシュによってシークによる遅れを回避することができる。これらのデータはRAMの速度で検索されるからである。同様に、キャッシュによって、キャッシュ内に格納されているデータの転送速度は、キャッシュとマイクロプロセッサ間のインターフェイスの限度まで高速化される。オンディスクキャッシュでは、ドライブインターフェイスが主な制約となる。ディスクコントローラかホストアダプタにハードウェアキャッシュを持った場合は、バスインターフェイスが制約となる。ソフトウェアキャッシュでは、マイクロプロセッサとメモリのアクセススピードが唯一の制約要素である。

21.9　ハードディスクの購入

シングルユーザータイプのパーソナルコンピュータ用のハードディスクには技術上の違いがなくなってきたため、今では適切なハードディスクを選択するための心配はほとんどいらない。現在の(中古ではなく)製品は、素晴らしい性能で長期にわたって故障もなく使用できる。とはいえ、購入するディスクと購入場所を決定する際に役立つポイントはいくつかある。

容量

ハードディスクでは価格と容量が最も重視されることは間違いない。ただし最終的な判断は基本的にはユーザー次第である。そのユーザーが購入できる製品のみがその検討対象となりうるからだ。容量については、予想される必要量よりも大きめのものを購入することが、唯一のポイントといえるだろう。その方が少しでも長く使えるからである。

今日では、価格にこだわる人と、10年前に逆戻りできる人しか、20Mバイトや40Mバイトのドライブは購入しない。この容量では、明らかに高度なソフトウェアをインストールするには不十分である。Windows 3.1にアプリケーションを少し追加すると、すぐに40Mバイトドライブの限度を超えてしまう。OS／2バージョン2.0では、60Mバイトドライブが必須である。これはつまり、検討対象となるのは100Mバイト以上ということである。このような容量の条件を満たすものでMバイト単価が安いものと考えると、最適なのは200Mバイト程度のものということになるだろう。

性能

ネットワークサーバを最適化しようというのでなければ、性能の持つニュアンスはすべて忘れてよい。さもなければ、RAM用に数Mバイト分を投資して、ソフトウェアディスクキャッシュを使用すればよい。DOSおよびWindowsの現行バージョンに添付されているSMARTDRV.SYSは、様々なハードディスクの差を補って余りある。

システムの互換性

システムの互換性は、購入時のチェックポイントの中では通常最後のほうに置かれるが、いずれのハードディスクドライブでも、手持ちのパーソナルコンピュータで動くということは重要な条件である。これにはいくつかの問題が含まれている。

特別なソフトウェアを必要とせずに正常に機能させたい場合、また、ドライブの容量のすべてを有効に使用したい場合、ドライブの物理的構成(ヘッドとシリンダの数)は、パーソナルコンピュータのセットアッププロシージャにあるドライブパラメータの1つとマッチする必要がある。ハードディスクのベンダーにヘッドおよびシリンダの数を聞き(通常は公表されていない)、それをパーソナルコンピュータのマニュアルの表またはパーソナルコンピュータのセットアッププロシージャで示されるドライブの種類の表示と照合する必要がある。ただし、自動セクタトランスレーションモードまたは進んだインストールプログラムを備えたドライブを選べば、この問題は回避できる。

ハードディスクを増設する場合、最適なのは1台目のドライブと同じものである。まったく同じものがない場合は、新たにドライブコントローラが必要にならないように、同じインターフェイスのものを選択するとよい。しかし、ST506を使用している場合は、それをあきあらめてもう少し大きいATアタッチメントドライブを購入した方がいいだろう。容量は大きくてもそれほど値段は変わらないし、特別な問題もなくさらに優れた性能を得ることができる。

この場合忘れてならないのは、旧式のATアタッチメントドライブには、ほかの製品と互換性がないものがあることである。手持ちのパーソナルコンピュータが1990年以前のATアタッチメントドライブを搭載している場合、その装置と互換性があるのは同じ機種のみである。最近の製品であれば互換性に問題はない。

状況は改善されつつあるが、SCSIコントローラには、特定のパーソナルコンピュータまたはディスクドライブでは動作しないものがある。SCSIを選択する場合は、適合するドライブおよびコントローラを入手することで互換性の問題に対処したほうがよいだろう。

コントローラとホストアダプタ

手持ちのパーソナルコンピュータの古いドライブを高性能インターフェイスを使用するドライブへアップグレードアップしたい場合、新しいハードディスクコントローラまたはホストアダプタを購入する必要がある。新しいドライブの購入を検討する場合、価格という要素を忘れてはいけない。加えて、コントローラのサポートはハードディスクのサポートと同様に重要であることも忘れてはいけない。

高性能なインターフェイスを使いたいなら、現在使用しているドライブをあきらめるか、さもなくば、新しく購入するドライブとコントローラが古いユニットをインストールしたまま動作するというベンダーの確実な保証を得るべきである。そして、万一不適合だと判明した場合には、無料で返却できることを確認しておいたほうがよい。ベンダーから確かな保証が得られなかった場合は、そのドライブが手持ちのシステムに適合するという自信がベンダーにはないのだということを頭に入れておくべきだろう。

ケーブル

パッケージ販売の場合、ケーブルが含まれているか確認しておくと、手間がかからず予定外の出費が発生することもない。せっかくの給料日に新しいドライブを購入しても、ケーブルが付いていなければ、宅急便でケーブルが届くまで2、3日待たなければならなくなる。さらに、ケーブルを別に購入した場合、10ドルから20ドルの費用がかかる。ケーブルをドライブに付属してくれるベンダーで購入するとよいだろう。

物理的な問題

パーソナルコンピュータ内に収まらず、コンピュータの上に置かなければならないようなハードディスクはやめておくこと。そのためには、自分のシステムに、購入するドライブ用のスペースがあることを確認する。5.25インチのハードディスクの場合は、この点は簡単で、ドライブベイにフルハイトまたはハーフハイトのものがインストールできる。3.5インチのドライブでは、ドライブの高さをインチで正確に把握し、取り付けられるか否か検討する必要がある。

また、自分のドライブに必要なドライブ取り付け金具があることを確認する必要がある。システムが標準ATサイズのハードディスクレールを使用する場合、注文したドライブにレールが付いてくることも確認しておく。ベンダーにはCompaqサイズのレールを用意しているところもあるので、必要ならば問い合わせてみるとよい。

ベンダーにあいまいなドライブの取り付け方法を期待するよりも、手持ちのシステムを調べてみたほうがよい。そうすれば、メーカー側の配慮で、空いたドライブベイには必要な取り付け金具が用意されており、アップグレードできるようになっていることがわかるだろう。

ドライブの信頼性

ハードディスクの平均故障時間(MTBF)はそ

の信頼性の目安となる値である。しかし今日ではほとんど一笑に付されるようなものとなった。以前のドライブは約25,000時間動作すると査定されていたが、現在ではほとんどが10万から16万時間、つまり11年から18年動作すると査定されている。メーカーには、独自のMTBFを30万時間以上、つまり34年程度としているところもある。これならパーソナルコンピュータ(ついでにいえばユーザー自身)の寿命分は十分もつ。大きいMTBFは、ドライブの長寿命を保証する。また、メーカーがMTBFについてのクレームをどの程度の間サポートするかも考慮しなければならない。メーカーの保証が90日だけだった場合、50万時間というMTBFは意味がないのだ。

保証

ハードケィスクドライブはベンダーまたはメーカーにより保証されている。恐らくユーザーはベンダーの保証のほうをあてにするだろうから、これは最初に考慮すべき点である。

保証の程度を簡単に比較できるのが保証期間である。ハードディスクの保証期間は、最低90日以上である。良い製品を選び、将来的にハードディスクの保証を提供してくれるベンダーを選ぶことが大切だ。

保証内容も重要である。輸送時にはドライブに何が起こるかわからないため、修理後に送り返してくれるよりも、代替ディスクをくれる保証の方を選ぶべきである。

メーカーの保証方法は、知らないとごまかされたように感じる。一般に保証期間は、製品がユーザーではなく業者に売られた時点から始まるため、思っているよりも早く無効になる。さらに都合の悪いことに、認可されていない小売店で購入した場合はその保証を認めてくれないことがある。したがってドライブを購入する際には、メーカーの保証が得られることを明白にしておくことが大切である。

少なくとも適切に修理を行う設備と良い評判を持っているメーカーなら、ドライブを交換してくれなくても修理について心配する必要はない。

サポート

メーカーにより異なるが、購入したドライブのサポートには1つまたは2つの方法がある。ほとんどの場合、サポートしてもらうのに適した最初の相手は、ドライブを購入したベンダーである。したがって、ベンダーが提供するサポート内容について調べておくとよい。

購入する前に、販売員にメーカーのサポート方法を質問する。また、ベンダーが最低限サポート電話を用意しているかどうか確認する。その際、恐らくドライブのインストールは夜行うだろうから、電話をかける可能性がある時間帯にその電話が利用できるか確認する。また、そのサポート回線は無料で、質問に即座に回答できる十分な数のスタッフがいるかも調べる。スタッフがかけなおしてくれるまで、待ちたくはないだろう。

ベンダーには、ドライブメーカーのサポートスタッフだけに頼っているところもある。しかし、中にはユーザーと話さえしないメーカーもある。メーカーの扱いはベンダーのみを対象とし、エンドユーザーは対象外だからである。しかし一方では、ユーザーが最初はベンダーを頼り、それでもだめな場合には手を貸してくれるメーカーもある。消費者サポートラインを持つこともあり、中には無料のところもある。

21.10 ハードディスクのインストール

ハードディスクを選択し(そして手持ちのシステムで動作するか確認し)、それを入手したら、今度は実際にインストールする番である。ハードディスクドライブは、ほかの装置(第19章参照)と同様、ベイに取り付ける。ハードディスクのインストールで独特な点は、配線である。ドライブインターフェイスはそれぞれ独自の特別な配線を必要とする。通常は、各々が独自の働きを持つ2本から3本のケーブルを使う。

電源ケーブル

ドライブはすべてモータおよび制御回路を動作させるための電源を必要とし、ほどんどのドライブは、サイズまたはインターフェイスに関係なく、同じ種類の電源接続を使用する。この代表的な例外は、IBM PS/2の内部のドライブベイへインストールするようになっている3.5インチのハードディスクで、これは、電源と信号のコネクタを1個のプラグに一体化している。ほかのドライブでは、電源コネクタは4本のワイヤ(内1本は予備)をまとめたナイロン製のコネクタで、これが標準的な装置用の電源プラグである。なお、ATアタッチメント規格では、3.5インチのフロッピーディスクドライブに使用される小型の電源コネクタも認められている。

ほとんどのパーソナルコンピュータでは、ワイヤは標準カラーコードに準拠している(若干の例外もある)。赤のワイヤは5Vの直流用で、ディスクドライブの論理回路および制御回路を動作させる。オレンジのワイヤは12Vの直流用で、ディスクドライブのスピンドルモータに動力を供給する。黒のワイヤ(黄色の場合もある)は、これら2つの電圧のための返送経路およびグラウンドである。

ナイロン製のコネクタでは2つの角を面取りしているため、プラグを逆に差し込んで、誤った電流をディスクドライブの回路に流し込むことはあり得ない。

ドライブを正しくインストールするには、電源コネクタをハードディスクの後部にあるジャックに差し込み、奥までしっかりと差し込まれたことを確認するだけでよい。しかし、プラグをジャックに差し込む作業は容易ではないことがある。このとき、余計な力をドライブにかけないように注意する必要がある。やみくもにプラグをジャックの中に押し込むのではなく、1本の指をプラグに、親指をジャックにかけて2本の指に同時に力を入れて握るとよい。

ST506とESDIの配線

パーソナルコンピュータで使われる代表的な2つのデバイスレベルのハードディスクインターフェイスは、共通の配線システムを使用している。この配線方式は、そもそもはST506インターフェイスで使用するために開発されたものが、そのままESDIにも適用されたもので、データケーブルと制御ケーブルの2本のケーブルを使用する。

■ データケーブル

ST506およびESDI環境では、ハードディスクのデータケーブルも非常に簡単である。一般に使用されるのはリボンケーブル1本で、これは20本の導線をまとめたものである。リボンケーブルはディスクドライブ側ではメス型エッジコネクタで終端する。間違って逆向きに接続しないように、多くの場合、コネクタには2列目と3列目のピンの間にプラスチックの出っ張りが付いており、一方のディスクドライブ側の回路基板のエッジには同じところに切り込みが入っている。

リボンケーブルには極性があり、通常は1番の導線に色を付けて目印にしているので、プラスチックの出っ張りがなくてもケーブルの向きを間違えることはないはずだ。色の付いた1番の導線は、ハードディスクの端子のいちばん端(切り込みのある側)につながる(図21-1参照)。

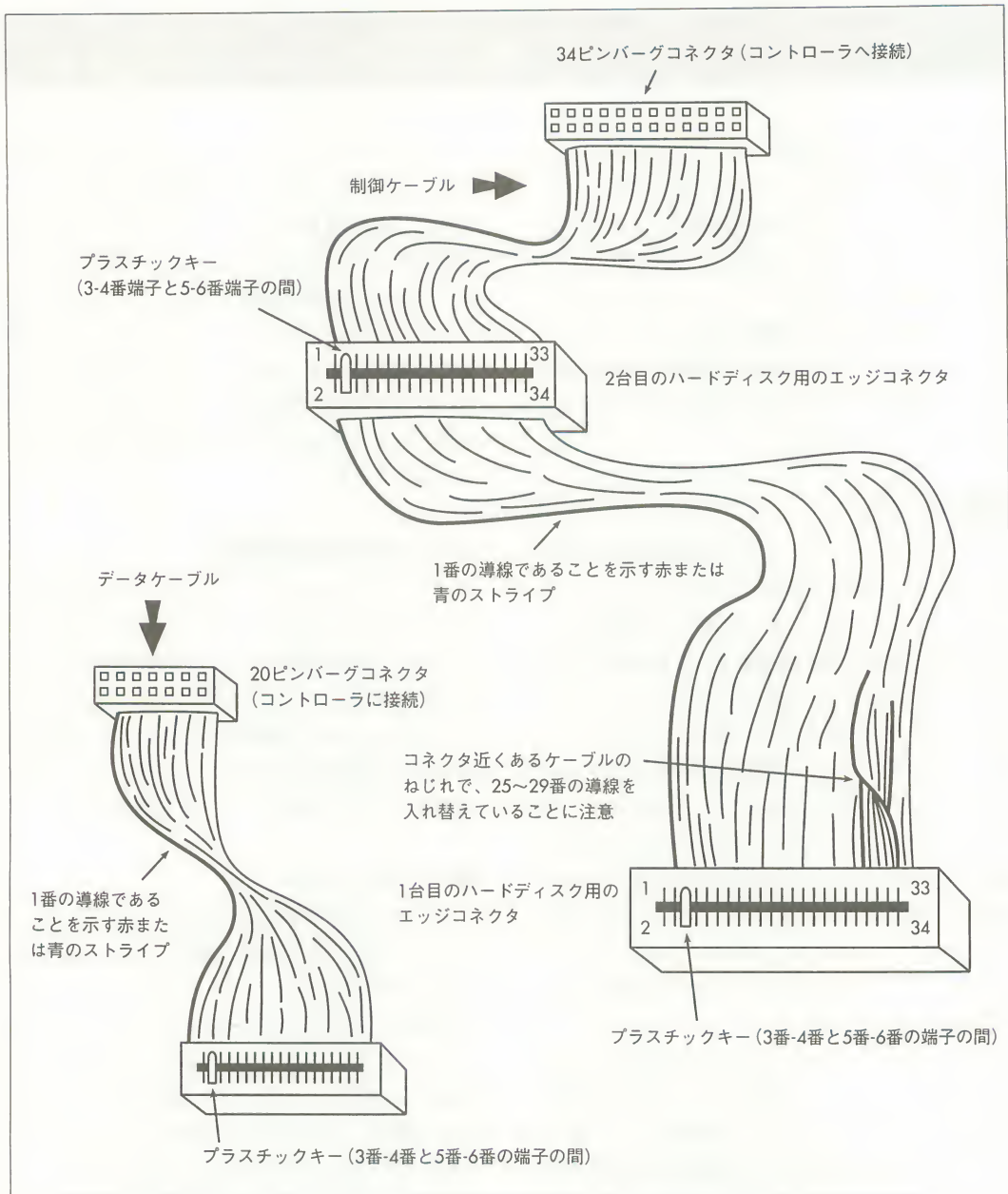



図 21-1　ST506 ケーブルと ESDI ケーブル

ケーブルのもう一方の端は、一般に、回路基板のヘッダの金色のピンに差し込むヘッダコネクタの形をしている。この部分には通常キーは設けられていないが、1 本ヘッダピンを取り除き、それに対応するコネクタの穴をふさいで、その代わりにしていることもある。通常、回路基板のヘッダが取り付けられる部分にはピン番号を示す記号が印刷されている。ケーブル上のキーとなるストライプは必ず 19 および 20 ピン側とは反対の 1 ピン、2 ピン側のほうに付けられる。

ほとんどのハードディスクコントローラは、2 本のデータケーブル用に 2 つのヘッダを持っており、

コントローラで制御される2台のディスクドライブに1つずつ使用される。通常これらのヘッダは、J3、J4と表示され、小さいほうの数字のジャックが1台目のハードディスクに対応している。

データケーブルを間違ったヘッダに差し込んでも、致命的なエラーにはならない。ディスクドライブシステムは正常に動作しないが、結果的にはダメージはないようだ。この状況の徴候としては、ドライブからは動作音が聞こえ、動作インジケータランプが点灯して（正常な位置の制御ケーブルが、ドライブが予定の動作を行っていることを確認しているため）、見かけ上は正常に動作しているように見えるが、画面にはエラーメッセージが表示される（コントローラが予定のピンにデータが出力されていなことを知るため）。ケーブルを正しいヘッダへ移動させると、ディスクドライブは生き返り、問題はなくなる。

■ 制御ケーブル

ハードディスクの動作内容を指定するコントローラからの信号は、34端子ケーブルを経由する。フロッピーディスクケーブルのように、ハードディスク制御ケーブルは2台の装置をデイジーチェーン接続するように設計されており、ケーブルの一方の端はコントローラに差し込まれ、2つのコネクタはそれぞれのディスクドライブに接続される。

IBMのハードディスクのディジーチェーン構造は、フロッピーディスクで使われるものと似ており、ハードディスク制御ケーブルはフロッピーディスクの制御／データケーブルにかなり似ている。たとえば、両方のケーブルとも、最初のドライブコネクタのそばで何本かの導線をねじっている。つまり、そのコネクタはDOSがドライブCと認識しているものへ差し込まれるわけだ。ケーブルの真中にあるねじりのないほうのコネクタはドライブDに差し込まれる。

ケーブルにねじりがある点は同じだが、ハードディスクの制御ケーブルとフロッピーディスクの制御／データケーブルは同じものではない。この2種類のドライブケーブルは、それぞれ異なる端子をねじっているため、交換して使用することはできない。

使用していないフロッピー用の制御／データケーブルとハードディスク用制御ケーブルが何本もある場合、混乱しないようにどれがどれであるかわかるようにしておく必要がある。それには、油性マーカで各ケーブルに印を付けておくのもよい方法だろう。フロッピーケーブルのコネクタにはAおよびB、ハードディスクケーブルのコネクタにはCおよびDと書き込む。あるいは、ケーブル自体に〝フロッピー〟または〝ハードディスク〟と書き込むとよい。

■ ドライブ選択ジャンパスイッチ

ハードディスクはすべて、それが搭載されるシステムによって個々に定義付けができなければならない。DOSは、たとえばよく知られている〝C〟などのドライブ番号を使用しているが、ドライブ番号は論理IDでしかない。システムのハードウェアは、各ドライブに個別の物理IDも必要である。ST506およびESDIハードディスクは、フロッピーディスク同様、装置番号またはドライブ選択番号を割り当てられている。一般に、装置番号はジャンパスイッチかハードディスク上にあるDIPスイッチで選択する。

■ 特殊ケーブルについて

DOSがハードディスクに割り当てたドライブ番号に関係なく、IBMのST506およびESDIハードディスク構造では、各ハードディスクは2台目のハードディスクとして設定されなければならない。番号が1から始まるハードディスクでは、IBMのハードディスクは2番になる必要がある。同様に、番号が0から始まっているハードディスクでは、IBMのハードディスクは1番になる。

このように、システム内の2つのドライブは同じ装置番号が設定される。そして、2台のドライブの区別は制御ケーブルによって行われる。ケーブルのねじりによって、システムには、ケーブルの先端のほうのコネクタに差し込まれているドライブが1台目のドライブであるように見える。そして、2台目のドライブとして設定され、ねじりのないケーブルで接続されているもう1つのディスクは、2台目のディスクとして認識されるので

ある。

IBMの法式に従わなければならないと規則で決まっているわけではない。どうすればいいかわかっていれば、ストレートケーブルでもツイストケーブルでも使うことができる。これをうまくやる秘訣は、ハードディスクのドライブ選択ジャンパスイッチをユーザーの特定の構成に合わせた設定の仕方を知ることである。

1台のハードディスクをIBM標準コントローラに接続するのにストレート制御ケーブルを使用するときは、ディスクドライブのドライブ選択ジャンパスイッチを、これが1台目のドライブであるということが反映するように設定する。また、ケーブルの最後のコネクタの前にねじりがない単一制御ケーブルで2台のハードディスクをデイジーチェーンするときは、Cと認識させたいドライブにはシステムで最も小さい選択番号を、Dと認識させたいドライブにはその次に小さい選択番号を設定する。

■2台以上のハードディスクの使用

ほとんどのST506および一部のESDIハードディスクは、2を越えるドライブ選択値もサポートする。IBMの配線方法は、これらの設定を使わない。代わりに、IBMおよび互換機メーカーのほとんどでサポートされているシステムでは、ハードディスクを2台一組として、その各組に個別のディスクドライブコントローラを使用する。ATインターフェイスドライブの場合も、同様にホストアダプタを複数使う必要がある。SCSIホストアダプタを使うと、ディスクまたは別の装置を最高7台まで使用することができる。しかし、1つのホストアダプタに7台未満の装置を接続したり、7台以上の装置を接続するのに2つ目のホストアダプタを追加したり、または、各ドライブに対して個別にホストアダプタを使用することなども、ユーザーの要求に応じて可能である（それだけの費用があればの話だが）。

各コントローラやホストアダプタに接続されたハードディスクには、ドライブ選択番号、SCSI ID、または2台のドライブシステムにおける同じ意味を持つものが割り当てられる。IBM配線（制御ケーブルのドライブC用のコネクタのそばにねじりがある）では、各コントローラに接続された2台のドライブは、システムにおける物理的に2台目のハードディスクとしてジャンパ配線される。

ジャンパまたはツイストケーブルによって、各ハードディスクに割り当てられた様々なドライブ選択番号は、コントローラでは2台の装置を区別できるだけである。ドライブ番号の割り当ては実際にはDOSで行われる。

DOSはドライブ番号の割り当ての際は、厳密な順序に従っており、論理検索で発見した1台目のハードディスク（またはほかの装置）には必ずCから割り当てていく。この検索では、まず、システムのBIOSによる読み取りが行われ、次にシステムのCONFIG.SYSファイルのデバイスドライバを介して読み取りが行われる。

BIOSの検索には、システムまたはプレーナーボードのROM内のファームウェアだけでなく、ハードディスクコントローラを始めとする追加された周辺拡張ボードに搭載されたコードも含まれる。ほとんどのディスクコントローラは、そのコードの先頭にメモリアドレスC8000（Hex）を割り当てている。またそのほとんどは、ユーザーが代替アドレスD8000（Hex）を設定できる。メモリはシーケンシャル検索されるため、開始アドレスが低い（この場合C8000（Hex））コントローラに接続するドライブは最初に検出され、1台目のハードディスクドライブ番号が割り当てられる。アドレスD8000（Hex）から始まるメモリを使用するコントローラが検出された場合、そのドライブ選択の設定に関係なく、次のドライブ番号が割り当てられる。ディスクコントローラが1つしかなく、それに2番目のベースアドレスであるD8000（Hex）が割り当てられている場合は、1台目として認識されることに注意しなければならない。ドライブまたはそれに接続しているドライブには、Cから始まるDOSの割り当てが行われる。

ドライブ選択ジャンパスイッチ（およびケーブルのひねり）で特定のコントローラに接続されているハードディスクを識別し、ベースメモリアドレスでコントローラを識別するというのが、一般的なルールになっている。

ATアタッチメント配線

ATアタッチメントの方式では、別の方法で配線を簡単にしている。ケーブルの信号はすべて、1個のホストコネクタへ接続可能な2台のドライブの双方に接続される。ケーブルによってホストATアタッチメントポートに接続可能な2台のドライブは、同じピン上のまったく同じ信号を受け取る。IBM ST506およびESDI接続において2台中の1台を識別するのに、リボンケーブルのねじりは一切使用しない。その代わりに、それぞれのATアタッチメントインターフェイスドライブの入出力信号は、制御信号とタイミングで識別される。

■ 複数のドライブ

しかしながら、2台のドライブが1つのATアタッチメントポートに接続された場合、両者は同じようには動作しない。一方のドライブはマスター、もう一方はスレーブと呼ばれるが、マスタードライブは名目だけのマスターで、スレーブを制御することはできない。マスターが唯一優先される機能は、2ドライブシステムにおける両ドライブの信号のデコードだけである。

ATアタッチメントドライブはすべて、マスターまたはスレーブになることができる。これはドライブのジャンパの設定により決定される。ある位置にジャンパが設定されると、そのドライブはマスターとして動作し、違う位置に設定されたドライブはスレーブになる。

1台のマスターと1台のスレーブしか1つのATアタッチメント接続では許容されないため、1つのATアタッチメントチェーンにおける2台のドライブは、システムが動作するためには、それぞれマスター／スレーブジャンパを正しく設定する必要がある。大抵のドライブはマスターとして動作するようにジャンパ設定されて出荷されているため、ユーザーは短いチェーンへ増設する2台目のATアタッチメントドライブの方だけを変更すればよい。

■ ターミネータ

ATアタッチメントドライブをインストールする場合、通常は、ST506またはESDIドライブのようにターミネータに配慮する必要はない。ATアタッチメント設計ではターミネータは不要である。拡張カードを拡張バスに差し込むのとまったく同様に、ATアタッチメントバスは可能性のある負荷、つまり0、1、または2台のドライブが最適な負荷として接続できるように設計されている。ATアタッチメントインストールとはハードディスクをバスに差し込むことにすぎないのだ。

SCSI接続

SCSIシステムを構成するには、独特の配慮が必要になる。SCSIのID番号、すべてのドライブの接続、および装置のチェーン全体の正しい終端を設定する必要がある。

■ SCSI ID番号

SCSIでは、任意の順序で7台の装置をチェーンすることにより、それらの装置を任意の順序で接続できる。SCSIでは、装置を区別するために、0から6までのSCSI ID番号をそれぞれの装置に割り当てる必要がある（ホストアダプタは自動的に装置7となる）。

外付けSCSI装置のほとんどは、装置の後部パネルにある押しボタンまたは回転スイッチでID番号を割り当てる。また、ハードディスクのような内蔵型SCSI装置は、一般にSCSI IDを設定するジャンパまたはスイッチを数個持っている。最も大事なことは、単純なことだが、SCSI ID番号はいずれも重複してはならない。つまり、同じSCSIチェーン上の2台以上の装置に同じID番号を割り当ててはいけないということである。

SCSI標準規格自体がSCSI ID番号の割り当てには完全な自由を認めている（番号の違いはアービトレーションの際に高い番号に優先権があるだけ）にもかかわらず、ホストアダプタ用のソフトウェアの開発者の中には、SCSI ID要求についてかなり頑固な者もいる。Western DigitalのWD1002コントローラエミュレーション機能をブートROMに組み込んでいるホストアダプタのほとんどは、コンピュータをブートするSCSIドライブをID番号0に設定する必要がある。どのような場合でも、

新しいハードディスクをインストールするときには、競合しないように、ホストアダプタに接続されているすべてのSCSI装置のSCSI IDを確認する必要があるだろう。

■SCSI配線

SCSIはバスであるため、デイジーチェーンにより装置を接続する。つまり、ホストアダプタから各SCSI装置までの接続にはストレートケーブル(ST506のようなねじれのないもの)を使用するということである。

ハードディスクのような内蔵型SCSI装置では、複数のコネクタが付いている単純なフラットリボンケーブルを使用する。コネクタはすべて同一信号を持つため、どのSCSI装置に対しても接続しやすいコネクタをどれでも使用できる。装置とホストアダプタはSCSI ID番号を使用して、コマンドとデータの行き先を分類する。

外部のSCSI配線は若干異なる。まず、ホストアダプタから外部のSCSIチェーンの1台目の装置へケーブルを1本渡す。2台目の装置に対しては、別のケーブルを1台目の装置に差し込み、そのケーブルのもう一方の端を2台目の装置に差し込む。装置を1台追加するごとに、これを繰り返して接続していく。

外付けSCSI装置のほとんどは、このようなデイジーチェーン接続が簡単にできるように、SCSIコネクタを2つ持っている。この2つのコネクタのどちらにどちらのケーブルを接続しても問題はない。機能的にはこれらのコネクタは同一で、各々が信号の入出力に等しく対応する。

SCSI規格のもとでは、2台の外付けSCSI装置間のケーブルは最低0.3メートル必要とされている。また同時に、SCSIチェーンにおける全ケーブルの総長は6メートル以内でなくてはいけない。そして、外部SCSIケーブルはシールドされていなくてはならない。

標準SCSIコネクタは50ピンで、セントロニクスプリンタコネクタの拡大版のようなものである。一方、少数のホストアダプタや外付けSCSI装置のいくつかは、25ピンDsubコネクタ(パーソナルコンピュータ後部のパラレルポートのようなもの)を使用する。したがって、両者の装置を適合させるためにはアダプタケーブルが必要となる。SCSIデイジーチェーンの最後には25ピンSCSI装置をもってくるとよい。

SCSIケーブルの接続とデイジーチェーンの終端を完了した後で、各コネクタが確実に接続されるように、各SCSIコネクタの固定クリップや固定ワイヤをきっちり止めたほうがよい。SCSI接続ではこのような機構的なロックが特に重要である。なぜなら、旧式のクリスマス用のライトのようなこの配線では、1つが動作しなくなるとすべてが動作しなくなるからである。SCSI接続では、チェーンの中の1台の装置のコネクタが緩んで接触できなくなると、その装置だけでなく、その後に接続された装置すべてがコミュニケーションできなくなる。さらに、チェーンが正確に終端されないため、チェーン内の最初のほうの装置でさえ、動作に信頼性がなくなる。各SCSIコネクタのワイヤを確実にロックすれば、コネクタが偶然緩んでしまうようなことは起こさずにすむ。

■SCSIのターミネータ

最終的には、SCSIデイジーチェーンに終わりがくる。接続する周辺装置がこれ以上ない最後の1台の装置がその終わりである。このとき、SCSIケーブルチェーンに不要な信号が流れないように、SCSIシステム全体を正確に終端させる必要がある。終端方法としては、内部でレジスタパックを使って終端させる、外部にダミーのターミネータプラグを使用する、もしくは、スイッチを使用するといった3つの方法がよく使用されている。「レジスタパック(集合抵抗)」は回路基板に直接接続する部品で、ST506およびESDI装置にも使用されている。ほかのインターフェイスとは異なり、SCSI装置は通常3個の(1個ではない)レジスタパックを終端に使用する。パーソナルコンピュータ用のSCSIホストアダプタとハードディスクのほとんどでは、終端レジスタがあらかじめ取り付けられている。

終端抵抗は簡単に見つけることができる。縦約1インチ、横1/4〜3/8インチ、厚み約4/5インチの同じ部品が3つある。多くに共通しているこ

とは、これらのレジスタパックは赤、茶黄、または黒で光沢があることと、SCSI 装置またはホストアダプタの SCSI コネクタの側にあるということである。レジスタパックは必要に応じて、回路基板上のソケットから引き抜いて、簡単に取りはずすことができる。

外部 SCSI 装置のターミネータはプラグの形をしており、SCSI 装置後部の SCSI ジャックをすこし延長したように見える。終端プラグの片方は SCSI 装置のジャックの 1 つに差し込まれ、もう一方のダミープラグには別の SCSI ケーブルに接続されるジャックとなっている。しかし、外部終端の中には、後部に 2 つ目のジャックを備えていないものもある。一般的に 2 つ目のジャックがなくても問題はない。ダミープラグは SCSI チェーンにおいて最後の装置にのみ差し込まれるからである。

終端を行う 3 番目の方法であるスイッチは、外付け装置と内蔵型装置の両方にある。1 個のスイッチで全体的な終端を行うこともあるが、SCSI ドライブが 3 列の DIP スイッチを持っていることもあり、その場合、それらの DIP スイッチはすべて、終端が行われているかどうかを選択すために同じ位置にフリップされなければならない。このスイッチは SCSI 装置自身もしくは外付け装置のケースについている。

外付け SCSI 装置の中には、ケース内のドライブ上にある終端を使用しなければならないものがわずかにある。したがって、このような装置では、終端を設定するのに装置を分解しなければならない。

SCSI 仕様では、SCSI チェーンにおける最初と最後の装置は終端させなければならない。パーソナルコンピュータでほとんどの場合、最初の装置は SCSI ホストアダプタである。1 台の内蔵型ハードディスクをホストアダプタにインストールした場合、これはチェーンにおけるもう一方の終わりとなり、ターミネータが必要である。インストールするのが外付けハードディスクの場合でも同様である。

1 つのホストアダプタに複数の装置を接続した場合、ターミネータの問題は複雑になる。一般に、ホストアダプタは、内蔵型および外付けの両装置が接続されている場合を除き、SCSI チェーンの両端に 1 つづつ必要である。内部と外部の両方に装置を接続している場合には、終端をホストアダプタから取りはずす必要がある。その場合、内部の SCSI ケーブルの終わりに一番近い装置は終端される必要があるが、これは、ケーブルのデイジーチェーン接続の終わりに位置する外付け装置で、ケーブルのプラグが差し込まれていないコネクタを持つ装置のみがそうする必要があるのと同様である。ほかのすべての装置のターミネータは取り外すかまたはオフに切り換える。

21.11　ハードディスクのセットアップ

装置を物理的に取り付けて配線したら、それをコンピュータに知らせる必要がある。ディスクパラメータがファームウェアに固定されている PC、XT、およびサードパーティのシステムの場合は、何もする必要はない。ファームウェアは適切なメッセージをシステムへ送信し、システムにどうなっているかを知らせる。しかし、AT 以降のコンピュータでは、新しいハードディスク用にシステムをセットアップするためには、実際にいくつかのステップを踏まなければならない。

ATドライブの種類

AT（および XT の 286 モデル）から、IBM はディスクの構成情報を様々な方法で格納することにより、ハードディスクの選択の幅を広げた。ハードディスクの BIOS には 15 種類の設定が組み込まれており、使用されているパラメータのセットを示すポインタとして、CMOS の 2 分の 1 バイトが使用されている。これらの設定はディスクパラメータと同じ形式であり、使用するディスクのパラメータと一致しなければならない。

ATのセットアッププログラムを実行して、手持ちのディスクドライブに関する正確な情報をこの特殊なメモリ領域に書き込むことになる。標準のIBMコントローラがサポートしている2台のドライブは、それぞれリスト内のどの種類のドライブでもかまわない。実際、異なる種類のドライブを混在させることもできる。

後になって、IBMコンピュータや互換機は、コントローラのメモリ内にあらかじめ定義された様々な設定を拡張したため、必然的に、CMOSのポインタの記憶領域も1バイトに拡張された。これらのシステムでも、1つのコントローラに2種類のドライブを接続できる。

概してIBMは、ドライブの各種類に何番を割り当てるかについては一貫している。ATで使用された最初の15種類のドライブに対する番号は、選択肢の増えたその後のマシンでも使われ続けている。

互換機メーカーは、最初の15種類のドライブについてはIBMをコピーしたが、その後の展開としては、その多くが独自の方向に進んだ。実際、多くのメーカーが、IBMよりも先にハードディスクの種類の選択の幅を広げ始めた。パラメータはBIOS固有のものであり、メーカー間で異なるだけでなく、ときには同じメーカーでもモデル間で異なることもある。一般に、セットアップディスクもしくはBIOSに組み込まれた形でパーソナルコンピュータと共に供給されるセットアッププログラムを実行すれば、様々なドライブオプションを確認することができる。

サポートされていないドライブ

増設したいドライブがサポートされていない場合、いくつかの方法でそのドライブを増設できる。最も簡単なのは、自動セクタトランスレーション機能を持つドライブを使用することである。これはシステムを正確な容量に設定している限り、自動的に最適な設定を行うものである。この方法でない場合は、サポートされていないドライブを適合させるには、特別なソフトウェアが必要になるか、もしくはドライブ容量の一部を使えなくする必要がある。

ドライブインストール用の特別なソフトウェア、たとえば、On-Track Computer SystemのDisk ManagerやStrage DimensionのSpeed Storは、サポートされていないディスクをシステムに適合できるようにソフトウェアドライバをセットアップするものである。インストールソフトウェアを実行し、メニューから適当なディスクモデルを選択すると、自動的に適合が行われる。このソフトウェアによるセットアップシステムの唯一の欠点は、DOSでしか動作しないことである。

しかし、ユーザーがドライブのパラメータの設定ができる場合は、実際に使用するドライブよりもシリンダ数が少ないドライブの種別番号に合わせることにより、特定のハードディスクを動作させることができる。たとえば、1,224のシリンダを持つドライブの場合は、そのドライブとヘッドの数が同じでシリンダが1,024というタイプのドライブを選択するのである。この方法の欠点は、残りの200個分のシリンダにはアクセスできないため、容量が無駄になってしまうことである。

同様に、システムが実際持っているよりも少ないヘッド数を指定することもできるが、その場合、恐らくかなり多くの容量をあきらめることになる。この方法は最後の手段にしたほうがよいだろう。

ドライブ動作インジケータ

ほとんどのハードディスクはドライブ動作インジケータ（赤または緑の小さなLED）を持っており、システムがドライブへアクセスしたときに点灯するようになっている。しかし、新しいハードディスクをシステムにインストールすると、システムの電源スイッチを入れると同時にこのLEDが点灯し、そのまま点灯し続けることに気付くはずだ。このように点灯し続けるのは、問題が発生していることを示しているのではなく、IBM ATのハードディスク設計仕様による現象である。

内蔵型のハードディスクを搭載したIBMコンピュータはすべて、フロントパネルにドライブ動作インジケータを持っている。いずれの場合でも、このインジケータを制御する信号は、ディスクドライブ自体ではなくハードディスクコントローラから得られる。したがって、インジケータには、

ドライブが実際行っている動作ではなく、コントローラがドライブに伝えたことが反映されているのである。コントローラはドライブを絶え間なく選択してアクティブになっていると思わせ、その結果インジケータランプの点灯が持続するのである。赤ランプが気になる場合は、大抵、ドライブのLEDの接続を切断したりLEDのリードを切って消すことができる。

21.12 ハードディスクのフォーマット

新しいハードディスクは生まれたばかりの赤ん坊と同じである。いくつかの能力は備わっているが、知能とメモリは基本的に空白である。世の中のことを学んでからでなければ、設計通りに動作することはできない。たとえば、ドライブの多くは、同じ長さのトラックから記憶領域として使用する個々のセクタを構成する必要がある。フロッピーディスクドライブと同様、ハードディスクドライブを構成することを**フォーマット**という。しかし、ハードディスクは、ローレベルフォーマットとDOSフォーマットという2つのレベルの構成があるという点でフロッピーディスクと異なる。どちらもDOSの下でディスクを使用する必要があるが、それぞれは独自の規則を持ち、セットアップに独自の手順を必要とする。

ローレベルフォーマット

ドライブはセクタを各トラックに個別に定義しなければならない。デバイスレベルインターフェイスのハードディスクは、通常、ステッパモータによるヘッドアクチュエータのステップか、ボイスコイル駆動ドライブのサーボプラッタ上のサーボトラックによって、トラックとシリンダがあらかじめ定義されているが、セクタは見ることも感じることもできない。ディスクにデータを書き込むには、後で情報を検出および検索できるように、道しるべとして利用されるマークをセクタにつける必要がある。ハードディスクにセクタを定義するプロセスを**ローレベルフォーマット**という。これは、通常のDOSコマンドが到達するよりも低い制御レベルで行われるからである。

ローレベルフォーマットを行うためには、ローレベルフォーマットプログラムを実行する必要がある。IBM互換機と共に出荷されるDOSのバージョンには、LLFORMATまたはHDPREPという名前を持つプログラムが含まれているものがある。ほとんどのディスク診断プログラムにも、ローレベルフォーマットルーチンが含まれている。1987年以前のIBMのパーソナルコンピュータ用のローレベルフォーマッタには、IBMがPCおよびATシステムに付けて販売した高度診断プログラムが含まれていた。PS／2シリーズのローレベルフォーマットプログラムは、各コンピュータに付属のリファレンスディスクに含まれているが、隠されている。したがって、このローレベルフォーマットプログラムを使用するときは、PS／2をリファレンスディスケットからブートしなければならない。〝press Enter to continue〟と聞いてくる最初の画面でEnterキーを押す。すると、7つのメニュー選択肢があるメインメニュー画面が表示されるが、これは無視する。ここで、CtrlキーとAキー(Ctrl-A)を同時に押す。これでマシンは高度診断プログラムをロードする。ローレベルフォーマットルーチンをメニューから選択することもできる。

ST506およびESDIハードディスクコントローラのアフターマーケットのメーカーの多くは、自社製品に接続されるハードディスクをローレベルフォーマットするために必要なプログラムを、コントローラのROMファームウェアの中に入れている。これらのルーチンは、通常、DOS DEBUGプログラムのGOコマンドで実行される。たとえば、これらのルーチンは、DEBUGハイフンプロンプトに対して下記の命令を入力することによりアクセスされる。

```
G=C800:5
```

これをコントローラで試してみて動作しない場合、システムがハングアップするだろう。動作した場合は、画面上にプロンプトがでる。組み込まれたローレベルフォーマットルーチンには、アドイン BIOSにおける位置が数バイト違うものがある。先の例で動作しなかった場合は、C800：6またはC800：8で実行してみるとよい。違っていても、コンピュータがハングアップする以外、ダメージは生じない。特に、新しいハードディスクには何もないから、データを傷つけることもない。

ほとんどのシステムレベルインターフェイスのハードディスクドライブ(ほとんどのハードディスクということ)は、ローレベルフォーマットがあらかじめ行われている。中には、ローレベルフォーマットができないものがある。たとえば、ATアタッチメントドライブは、実際のドライブの形状をパーソナルコンピュータで読めないようにするセクタトランスレーション機能を使用している。これらのドライブのメーカーは、ハードディスクが工場でいったんフォーマットされた後は二度とフォーマットする必要はないと考えているのである。

ディスク回復のためのフォーマット

19章で述べたように、磁気媒体はすべて時間とともに劣化していく。これはハードディスク媒体における磁束遷移が時間の経過に伴って弱くなるということである。磁束遷移によってデータが書き込まれると同時に、磁力は徐々に失われていく。そして最終的には磁力が弱くなって、読み取り時にエラーを発生することになる。ハードディスクのデータ領域の磁束遷移は書き込みを行うたびに磁力を回復し、そのたびに劣化への長い歩みを始める。ローレベルフォーマット情報がいったん書き込まれると、少なくともディスクをもう一度ローレベルフォーマットしなければ、ディスクは決して回復されることはない。

ディスクの定期的なローレベルフォーマットは、その信頼性を高め、ディスクエラーを防ぐことができると思っている人もいる。事実、旧式のドライブはそうであった、ローレベルフォーマットによってディスクエラーの発生を回避できたのである。そのようなドライブでは、バックアップおよびローレベルフォーマットプログラムの実行を2、3年に1回行うというのは、素晴らしいアイデアであり、ディスクの寿命を延ばすわけではなくても、万一システムに障害が発生した場合には、バックアップは価値あるものになる。しかし、最近のドライブは経年劣化に強い高い保磁力を持ったメディアを使用している。ディスクメーカーの多くは、ローレベルフォーマットの更新は現代の製品においてはもはや必要ないという意見である。

不良トラックと不良セクタ

ハードディスクのプラッタの製造の際、磁気媒体に欠陥が発生することがある。欠陥があると、データが適切に記録されない。欠陥が発生したセクタは不良セクタと呼ばれる。また、不良セクタを持つトラックは、不良トラックと呼ばれる。

コンピュータは、不良セクタについては、通常の使用からは排除することによって対処することができる。ローレベルフォーマット処理の際、正しく機能しないセクタが記録され、システムはそのセクタを使用しないようにするのである。不良セクタを別にすることの唯一の影響は、ハードディスクで使える容量が少しだけ減ることである。

ローレベルフォーマット用のプログラムの中には、フォーマット処理を始める前に不良セクタのデータを入力しなければならないものがある。これは無駄なように思われるが(フォーマットプログラムが別にチェックするため)、そうではない。工場の不良セクタのチェックは、フォーマットルーチンよりかなり厳しい。このような厳密なチェックによって、先々のトラブルの発生を最少限に抑えることができるのである。うんざりするだろうが、ローレベルフォーマットプログラムがを実行するとき、必要に応じて、不良セクタのデータを入力しなければならない。不良セクタのリストは、通常、ディスクドライブに添付されている紙か、ドライブ自体に貼り付けられたラベルに記されている。

不良セクタが悪影響を及ぼす唯一のケースは、ディスクの先頭トラックで不良が発生したときで

ある。先頭トラック（トラック0）は、パーティションとブートデータの記録に使用されている。この情報は必ずディスクの先頭トラックになければならない。ここに書き込めなければ、ディスクは動作しない。

トラック0が不良のハードディスクを購入した場合は、購入先の業者に返却するとよい。ヘッドクラッシュの後でディスクを再フォーマットして、その最中にトラック0が不良であることが判明したら、ディスクを買い替えなければならない。

パーティション

ローレベルフォーマットをハードディスクに行ったら、今度はパーティションを行う必要がある。パーティションの作業は、オペレーティングシステムの仕事である。パーティションによって、ハードディスクの論理構造が、オペレーティングシステムと互換性のある形式に設定される。

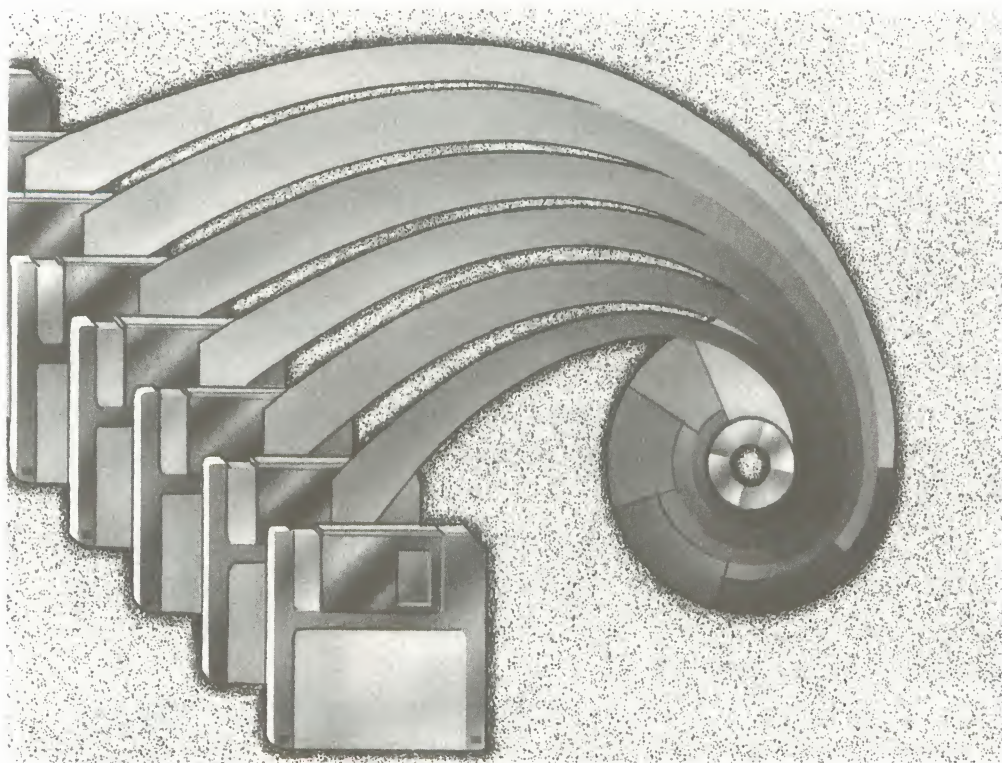
IBMのパーティション用プログラムはFDISKと呼ばれる。ディスクにローレベルフォーマットを行った後で、FDISKを実行しなければ、DOS（またはOS／2）オペレーティングシステムを使用する作業は何もできない。

DOSフォーマット

ディスクを使えるようにする最後のステップは、使用したいオペレーティングシステムによるフォーマットである。DOSの場合は、FORMATプログラムを実行するということである。現在のDOSの FORMATプログラムでは、ハードディスクのデータ領域には上書きせず、単にファイルアロケーションテーブルを新しくするだけである（ディスクをアンフォーマットできるのはそのためである。DOSフォーマット作業により隠されたすべてのファイルを見つけ出せるように、FATのコピーをディスク上の任意の場所に格納することにより、アンフォーマットプログラムはFATを再構成することができる）。

ここで注意しておきたいのは、IBMのオペレーティングシステムは下位互換性はあっても、上位互換性はないことである。ハードディスクをDOS 5.0でフォーマットし、DOS 3.3のフロッピーディスクから立ち上げた場合、ハードディスクを読み取ることはできないのである。エラーメッセージが出るか、または数字とにこにこマークの変な組み合せでできたファイル名などが画面上に出てしまうことになる。ハードディスクへの書き込みには、ディスク上のフォーマット以前のDOSバージョンを使用してはならない。使用した場合、ディスクは回復できないダメージを受けることになる。

第22章

光学記憶装置

光学記憶装置の技術は、性能、着脱式カートリッジ、大容量の条件をすべて満たすすばらしい技術である。現在、実用化されているシステムには、CD－ROMドライブ、WORMドライブ、書き換え可能型光ディスクドライブ、フロプティカルドライブの4種類があり、それぞれが独自の特徴を備えている。現時点ではほかの大容量記憶装置に取って代わるほどのものはないが、それぞれにほかにはない長所があり、今後、パーソナルコンピュータの世界で長らく使用されていくものと思われる。

60年代の新卒者にとって最も有望な産業が「プラスチック」であったとするなら、現代の新社会人に対するアドバイスは「光学」ということになる。レーザー光線の制御技術は、全産業に革命的な変化を引き起こすと思われる。実際、光の用途は癌の治療にまで広がってきている。

60年代においては「プラスチック」というアドバイスは、賢明な選択であると同時に安全なアドバイスでもあった。プラスチックの持つ大きな可能性は、すでに60年代には明らかになっていたからである。光学技術についても同じことがいえる。光波は、すでに長距離伝送のための電気信号として使用されている。また、高速道路ではレーザーはレーダーに代わって、スピード違反の摘発装置に使用されている。そして現在では、音声は、主流の座を降りた塩化ビニール製の黒いレコード盤からではなく、ほとんどの場合、回転するCDから光学的に取り出されている。

コンピュータの分野では、特定の一技術ではなく、CD－ROMドライブ、WORMドライブ、書き換え可能型光ディスクドライブ、フロプティカルディスクドライブという4つの異なる光学技術が、長らく使用されてきた磁気記憶装置の座をおびやかしている。この4つの光学技術はいずれも、パーソナルコンピュータの特定用途に的を絞って開発されたもので、従来の磁気メディアを凌駕する長所を持っている。

数々の長所の中でも、最大の長所は記憶密度である。レーザー光線は、（通常は焦点を絞ることのできない）磁界に比べて、容易に一点に焦点を合わせることができる。実際、光学記憶装置では、すでに一定領域あたりの記憶容量が磁気記憶装置の10倍を超えている。焦点をこれ以上小さく絞らずに記憶密度を現在の100倍に上げることが可能な新しい光学技術も、やがて開発されそうな勢いである。

また、光学記憶装置では、データの保存可能期間は非常に長い。大部分の光学記憶メディアでは、10年以上もの間、エラーなしで記憶内容を保存することができる。耐用年数は世紀の単位にまで伸びると予想される。これは、磁気記憶装置の今後の進化を考慮しても、それを圧倒するほどの長い期間である。

また、光学記憶装置のメディアとドライブは信頼性が高い。記憶メディア上を磁気を帯びた読み書きヘッドが低空飛行する必要もなく、読み書きを行うメカニズムの中でメディアとの物理的な接触はほとんど発生しない。メディアの表面を傷つけることなく、メディア内に安全に格納されたデータを読み取る機能を本質的に備えているのである。

ただし意外なことに、全宇宙で最速である光の速度にもたとえられるこの時代にあって、光学記憶システムの最大の欠点は速度にある。最新鋭の光学記憶システムでさも、磁気記憶装置の速度には遠く及ばない。このため、光学記憶システムはこれまで一度も最速の記憶シ

ステムの座を占めたことがない。しかし、そのほかの長所は、光学記憶システムがパーソナルコンピュータの世界で一定の地位を占めるには十分なものである。

光学技術を利用したパーソナルコンピュータ用の一般的な記憶システムは4つあるが、その中でCD−ROMドライブ、WORMドライブ、書き換え可能型光ディスクドライブの3つは、手段、メカニズム、そして、データをディスクメディアに記録する部分が最も優れている。フロプティカルドライブでも、書き換え可能型光ディスクドライブと同様の機能が実現されているが(事実、フロプティカルドライブは書き換え可能型光ディスクドライブの一種である)、両者には機構的な違いがある。どの光学記憶システムを使用するかは、データの記録方式によって決めることになる。

CD−ROMでは、ディスク内のデータは初めから記録されていたものしかない。CD−ROMドライブをパーソナルコンピュータに取り付けても、あらかじめディスクに記録されているデータを読み取ることしかできないのである。CD−ROMという名前の由来はここにある。Read-Only Memory(読み出し専用メモリ)の略語である。この性質を利用すれば、CD−ROMドライブは優れた出版媒体となる。出版元は、無断で複製されるのを防ぎながら、数百万台のパーソナルコンピュータに重要なファイル(プログラムファイル、データベースファイル、画像や音声のファイルなど)を配布することができる。

WORMドライブは、データを光学記憶メディアに書き込むことはできるが、古代人の石版と同じで、いったん書き込まれたものは変更することはできない。書き込まれたものは永久に記録され、子孫の代にまで伝わることになる。公文書や変更不可の監査会計簿などを保存する場合は、WORMにまさるメディアはない。

書き換え可能型光ディスクドライブは、ハードディスクに対する光学技術者からの挑戦状である。磁気ハードディスクドライブと同様に、書き換え可能な光ディスクメディアは、メガバイト単位のデータを一度に読み書きすることができる。ハードディスクと唯一異なる点は、焦点の小さなレーザー光線を使用して磁気的な記録を行うため、より小さなビットをより耐久性の高い記録メディアに記録できることである。

書き換え可能型光ディスクドライブが従来のハードディスクへの挑戦状なら、フロプティカルドライブはフロッピーディスクへの挑戦状である。フロッピーディスクと同様に、データの記録には磁気を使用しているが、焦点の鋭いレーザー光線の手助けによって、柔らかな薄いディスクにフロッピーよりはるかに多くのデータを詰め込むことができる。

22.1 CD−ROM

名前から明らかなように、CD−ROMは基本的に、デジタル記録システムである**コンパクトディスク**（CD）を応用したものである。コンピュータの記憶装置にロックンロールがやって来たというわけだ。従来のオーディオ用コンパクトディスクと同様に、デジタルデータは、ディスクの表面に極微の穴を刻む特殊な記録装置を使用して、CD−ROMのマスターディスクに書き込まれる。穴としてコード化された情報は、光の反射率の変化を検出することで簡単に読み取ることができる（ディスクは銀色で光沢があるため、ピット部分は周囲よりも暗くなる）。

データピットは物理的な変形、つまりディスク上の単なるくぼみであるため、以前の塩化ビニール製のLPレコードの製造に使用していたのと同様のプレス装置を使用して、コード化された情報の微細なパターンを、数百枚のディスクにコピーすることができる。ただし、このような仕組みのために、一度CD−ROMに記録したデータは変更できない。

書き換え可能型CD−ROMや読み出し専用CD−ROMという言葉がマスコミで唐突に飛び出すことがあるが、この2つの言葉は自己矛盾している。書き換え可能なものは読み出し専用にはなりえないし、そもそもROMは読み出し専用メモリの頭文字をとったものである。長い間登場が待たれているTandy社の「THOR」や、Sonyから1992年に発売予定の記録可能な小型CDなど、CDへの書き込みが可能なシステムがいくつか発表されている。これらは決してROMではなく、書き換え可能型のシステムにCDの読み取り機能を持たせたものである。「CD−ROM」という名前は、このシステムの元になっているものと機能を表している。CDは、現代のオーディオ愛好家が好む音響再生メディアであるコンパクトディスクの略であり、ROMは"Read-Only Memory"の略である。パーソナルコンピュータ内のROMチップと同様に、CD−ROMのディスクにも変更不可能な形でデジタル情報が格納されている。CD−ROMは、取り出しは可能だが、記録はできないようにしたデジタルコードのソースなのである。

一般的なROMが、切手大のシリコン片に形成されているのに対して、CD−ROMでは直径約5インチの回転する銀色のディスクを使用している。見た目はオーディオ用のCDとそっくりである。実際にも、ディスク自体や記録されたビットはオーディオ用のCDとほとんど同じである。オーディオ用CDとコンピュータ用CDの最大の違いは、記録の機構や方法ではなく、入っている情報の中味にある。どちらもデジタル情報を記録しているが、オーディオ用のCDプレーヤーでは、デジタルコードが、スピーカから流れるアナログの音楽（あるいは専門家から音楽の範疇に分類されているもの）に変換される。一方、CD−ROMでは、記録されたデジタルノイズはデジタルのままで取り出され、デジタルのままでパーソナルコンピュータによって処理される。

オーディオ用CDとCD−ROMディスクには共通点が多いため、パーソナルコンピュータ用CD−ROMシステムの大部分は、CDプレーヤー用の制御プログラムさえあれば、音楽用のCDを再生することができる。実際、コンピュータ用のほとんどのCD−ROMプレーヤーには音楽の再生機能が組み込まれている。フロントパネルにヘッドホンジャックを備えたものや、背面にオーディオ出力端子を備えたものも多く、コンピュータでデータ処理だけでなく、音楽も楽しむことができる。また、ほとんどのメーカーが、パーソナルコンピュータ用CD−ROMプレーヤーに、オーディオ再生用のソフトウェアを標準添付している。

ただし、逆は真ならずである。オーディオ用CDプレーヤーでは、通常、CD−ROMメディアを再生することはできない。取り出せるとしても雑音としてであり、CD−ROMの中味を利用できる形で取り出せるプレーヤーはない。CD−ROMディスクのデータにアクセスするためには、コンピュー

タ用のCD−ROMドライブが必要である。

コンピュータ用のCD−ROMプレーヤーは、データの取り出しに高い精度を要求されるため、オーディオ用のプレーヤーよりも高価である。音楽用CDであれば専門家でも聞き逃すほどのわずかな音の欠落が、コンピュータ用CD−ROMでは致命的なデータの欠損になってしまう。小数点の位置を誤って読み込んでしまった場合など、その数値がたとえ0であったとしても、計算に重大な支障をきたすことになる。こういう問題を完全に回避するのは無理でも、最小限にとどめるために、コンピュータ用CD−ROMプレーヤーには、オーディオ用プレーヤーよりもはるかに強力なエラー訂正回路が組み込まれている。また、CD−ROMプレーヤーでは特殊な遠隔操作(パーソナルコンピュータから発行されるコマンドを実行する機能)が必要である。コンピュータ用CD−ROMプレーヤー自体には、ディスクを回転させる機能しかない。どんな情報を検索して読み取るのかについては、コンピュータが指示してやらなければならない。また、CD−ROMが取り出した情報(テキストであったり、グラフィックイメージであったり、あるいは音である場合もある)は、視覚的、聴覚的に、コンピュータが表わす必要がある。幸い、CD−ROMディスクは交換が可能なメディアとして設計されているため、使用したいディスクがたくさんある場合でも、CD−ROMプレーヤーは1台あればよい。オーディオ用CDプレーヤーと同様に、コンピュータ用CD−ROMプレーヤーでも、ディスクは交換することができる。したがって、1台のCD−ROMプレーヤーで、様々なCD−ROMへのアクセスが可能である。

オーディオ用CDとコンピュータ用CDは、用途の面にも共通点がある。両者とも出版用のメディアとして最適である。新聞、書籍、ビデオ、レコードなどは、自宅での娯楽や情報収集の手段として便利であるが、CD−ROMも同様の手段として利用することができる。

CD−ROMはこの種の用途に最適のメディアである。ディスク自体の製造が容易な上(音楽用CDのプレス設備で製造できる)、これまでの出版メディアに比べてコストが安い。さらに、容量は一般的に非常に大きく、紙での出版が暗黒時代の遺物のように感じられるほどである。1枚のCDには最大600Mバイトのデータを収めることができる。これは、30万ページで、分厚い書籍でも約150冊分に相当する量である。

メディア

CD−ROMシステムの心臓はディスクにある。あらかじめデータを収めたディスクがなければ、CD−ROMシステムは何の役にもたたない。CD−ROMには書き込みを行えないため、読み取りたいデータがなければ、ドライブを持っていても何もすることはできない。つまり、CD−ROMプレーヤーは、何となく買うものではなく、プレーヤーにセットするソフトウェアを持っている、もしくはそれが決まった後に購入するものなのである。オーディオ用CDで聞けるのがハワイアンだけだったとしたら、専門家や物好きなファン以外に、CDプレーヤーを買う人はいないはずである。

万人の趣味を満たせるほどではないにしろ、CD−ROMディスクには幅広い分野のものがそろっている。製作の容易さと低コストを考えると、大きく成長する可能性を秘めたメディアである。

CD−ROMディスクへの情報の記録方法は、オーディオ用CDの場合とまったく同じである。違うのは、オーディオ用CDが最大75分の音楽を記録しているのに対して、CD−ROMには数百メガバイトのデータが詰まっている点だけである。データは、単純なテキストから、SVGA用の画像、プログラム、果てはマルチメディア用の音楽まで、どんなものでもかまわない。

CD−ROMの銀色のディスクには、デジタルデータが光学形式で収められている。オーディオ用の場合でもコンピュータ用の場合でも、デジタルデータは、CD表面のピットに吸収される光の有無として読み取られるビットパターンでコード化されている。CD自体は光沢があって光をよく反射するが、ピット部分は反射しない。レーザー光線をディスクに当てると、反射光が光検出器に入る。光検出器は、ピットと無傷の表面からの反射光の強度の違いを検出する。それに従って、ビットのパターンがデジタルデータにコード化される

のである。

（音楽用ディスクかデータディスクかを問わず）プレーヤーにセットするCDには、ピットというくぼみが刻まれている（プレスされている）。これは、オーディオ用CDシステムを始めて開発したメーカーが、レコードメーカーに売り込んだ点の1つであった。CDは、基本的に従来の塩化ビニール製のレコードと同じ方法で製造されている。まず、未使用のディスクに特殊な装置で高出力のレーザー光線を当てて、ピットを刻む。これで、マスターディスクができあがる。次に、このマスターディスクから鋳型を作る。この鋳型を使用して、打ち抜き型からコインを作るようにCDをプレスするのである。プレスが終わったCDの表面は、ピットの部分を除いて、光を反射するようにアルミニウム加工され、その後、化学変化（酸化）や物理的な変化（傷）を防ぐために、表面全体を透明なプラスチックで覆う。CDとレコードが大きく違うのは、CDは片面にしか記録しない点と、記録密度が高い点である。

CDのこの精密な製造工程は、実は、ディスクの製造コストにはほとんど影響していない。価格の大部分は、ディスク上のデータのコスト、つまり、販売するための情報を制作し、収集し、編集した人々へ支払われるロイヤリティが占めている。書籍に記録されたデータも同じような価格で販売されているが、書籍はCDよりも大きく、データが実際に見えるため、書籍の方が価値が高いと感じる人もいるはずである。

しかし、1冊の本を作るのも1枚のCD−ROMを作るのも、製造コストは同じようなものであるが、CD−ROMの方が入っているデータが多い分だけ得である。同じデータでも書籍にした方が重くなるため、本の価値を重さではかる人は、書籍の方が価値があると考えるかもしれない。しかし、データ量やデータあたりの価格を基準にすれば、CD−ROMは書籍よりもかなり安価である。データはそれ自体に価値があるのであり、決して外観に価値があるわけではない。

CDは2つの理由で耐用年数が長い。1つは、表面が透明なプラスチックで覆われているためであり、もう1つは、システムの構造上、再生面に接触するものがないため、傷がつきにくいのである（事実CDでは、再生時にレーザー光線で走査する側に比べて、ラベルが貼ってある側の方が傷に弱い）。データピットはディスク自体の層の内側に密閉されているため、レーザー光線以外が接触することはない。したがって、決して擦り切れることはない。エラーが発生するのは、故意または不注意（たとえば、ケースに入れずにディスクを重ねておいた場合など）によって表面に傷をつけた場合だけである。データ内でのエラーの発生を防ぐためにエラー訂正機能が組み込まれてはいるが、大きな傷があれば、ディスクがまったく読めなくなることもある。

音楽やデータといったデジタル情報を販売する場合、数百メガバイトの情報を数千の相手に届ける媒体として、コンパクトディスクは最適な選択である。コストが安いため、デジタル情報の出版メディアとしては主役の座を占めている。入手可能なCD−ROMタイトルは現在数百種類に上るが、それぞれに百科事典並みのデータが詰まっているのである。

プレーヤー

CD−ROMに弱点があるとすれば、プレーヤーがそうだといえる。CD−ROMディスク内にコード化して収められたデータを検索、転送する速度はCD−ROMプレーヤーによって決まるが、この速度が実に遅いのである。

この異常な低速度の根本原因は、CD−ROMがオーディオ用として生まれたことにある。データの取り出しに求められる条件は、音楽の再生に必要な条件とはまったく異なる。音楽の場合は、データの処理上の必要から、データの転送速度を遅くしなければならない。HiFiサウンドシステムの設計では、再生時間が充分であることが必須条件だ。CDは、中程度の長さのクラシック曲が1枚に収まるように設計された。これは、具体的にいえば、1時間を少し超える時間で、ベートーベンの『第九交響曲』が収録できる長さである。600Mバイトを60分で割れば、166Kバイト／secの転送速度が得られる。オーバーヘッド（情報のフォーマットなど）を考慮すれば、速度はさらに遅くな

る。ほとんどのCD−ROMプレーヤーの実質データ転送速度が150Kバイト／secであるのは、これにほぼ一致する。

さらに悪いことに、できる限り大量の音楽を詰め込むために、CDシステムでは、定線速度記録方式を採用している。ディスク盤の回転速度は、ディスクの中心から読み書きヘッドまでの距離に応じて決まる。ヘッドがトラック間を移動するにつれて、ディスクの回転速度は変わるのである。音楽の場合は、トラックに沿って連続的に再生されるので何も問題はない。トラック間の速度差は小さく、ドライブは直ちに速度を調整することができる。一方、CDシステムでランダムアクセスおよび急激な速度の変更を実現することは大きな問題である。ランダムアクセスのためには、ドライブは一番内側のトラックから一番外側のトラックへヘッドを一気に移動する必要があり、その際速度を急激に変えなければならない。しかし、ディスクの回転には慣性の作用があるため、回転の加減速の際に必ず一瞬の間が生じる。しかも、CDシステムの光学ヘッドはハードディスク機構の浮遊ヘッドよりもかなり大きく重い。これでは、ヘッドの移動にますます時間がかかってしまう。結果的に、CD−ROMプレーヤーの平均アクセス時間は、300ミリ秒にもなっている。

この低速度は、少しずつではあるが改善の方向に向かっている。NECはすでに倍速プレーヤーを発表している。この新しいプレーヤーでは、通常のCD−ROMプレーヤーの2倍の速度でディスクを回転させることによって、メディアには変更を加えずに、システムのデータ転送速度を300Kバイト／secにまで引き上げている。これでも速度はまだ不十分であるが、データの記録にCD−ROMを使用したデジタルビデオシステムやアニメーションシステムでは、動画の速度が大幅に向上する可能性がある。現在では、さらに3倍速、4倍速といった高速ドライブも登場している。

CD−ROM技術には、オーディオ分野で生まれたがゆえに有利な点もある。オーディオ用プレーヤーの便利な機能を数多く受け継いでいるのである。たとえば、CD−ROMプレーヤーの多くは、オーディオ用プレーヤーと同様に、ボタンを押すとせり出してくるスライド式の受け皿でCDを装着するようになっている。この受け皿にCDを乗せてもう一度ボタンを押すと、CDが装着される。

中にはもっと簡単にディスクを装着できるものもある。ディスクを、市販のオーディオCD用のプラスチックケースに似た特殊なキャリアに入れれば、CD−ROMプレーヤーにディスクをセットする際にも、キャリアごとスロットに入れるだけでよい。この方法は便利な上、ディスクを保護できる（傷や指紋が付く心配がない）ことから、キャリアをいくつも買って自分のCD−ROMをすべて入れているユーザーも多い。なお、CD−ROMの交換には、オーディオ用のCDチェンジャとよく似たマルチディスクカートリッジを使用することもできる。

ソフトウェア

コンピュータシステムに正しくインストールされたCD−ROMシステムでは、DOSのドライブが1つ増えたのと同じ感覚で、装着したディスクにアクセスすることができる。CD−ROMドライブには専用のドライブ名が割り当てられるため、DIRコマンドを実行して簡単にディスクの中味を調べることもできる。

ただし、ディスク内のデータへのアクセスはそれほど簡単ではない。CD−ROMには、通常、専用の検索ソフトが付属しており、記録されたデータを読み取るためには、このソフトを使用しなければならないのである。しかし、ユーザーは、また新しいソフトの使用方法を習得しなければならないのかとうんざりする必要はない。こういったソフトのほとんどは、メニューから選択する方式を採用しており、直感で使用することができる。スポンジに水がしみ込むように、すぐにプログラムの隅々までマスターできるはずである。

このプログラムは使う方の我々にとっては簡単だが、コンピュータシステムにとっては簡単ではない。プログラムの実行には、大量のメモリが必要になる。通常は、DOSの制限である640Kバイトを使いきってしまうことになる。この大食漢のプログラムのせいで、CD−ROMを使う前に、気に入っているTSRプログラムを外さざるをえな

い場合もあるだろう。

また、CD−ROMプログラムは、ハードディスクにも専用の記憶スペースが必要である。動作に必要なファイルをすべてハードディスクに転送すると、数百Kバイトになる。さらに、CD−ROMディスクには、専用のアクセスソフトウェアが必要であることが多い。ディスクを何枚も買えば、それぞれのディスク専用のプログラムを格納するために、かなり大きな記憶スペースを割くことになる。

要するに、CD−ROMドライブを導入して使いたい場合は、DOSの限度である640Kバイトのメモリとハードディスクを備えたパーソナルコンピュータが必要になるということである。なお、CD−ROMドライバと検索ソフトウェアは、DOS 3.10以降でなければ動作しない。

標準規格

パーソナルコンピュータに増設されるほかの周辺機器と同様に、CD−ROMプレーヤーとそれに使用するメディアは完全に標準化されている。CD−ROMディスクは市販のどのプレーヤーでも使用可能であり、今後購入するデジタルライブラリは、現在も将来も読み取りが保証されている。CD−ROMのブランドと、所有しているCD−ROMシステムとの互換性を気にする必要もない。

ただし、購入するCD−ROMディスクが自分のコンピュータのソフトウェアアーキテクチャに合うかどうかについては、確認しておかなければならない。IBM PCやMacintoshといった特定のパーソナルコンピュータ専用のディスクもたくさん販売されており、そのコンピュータで動作させるためにアクセスソフトウェアが異なるからである。したがって、ディスクを注文する場合は、使用しているパーソナルコンピュータの機種を指定するのを忘れてはならない。

CD−ROMディスク上のデータは、特殊なフォーマットで格納されているが(トラックやセクタの配置はハードディスクと似ている)、ありがたいことに、業界標準になっているフォーマットが1つある。現在販売されているCD−ROMディスクとCD−ROMプレーヤーはほぼすべてが、High Sierraフォーマットか、またはその最新版であるISO 9660仕様に準拠している。

この2つの標準規格の違いは、事実上、一部のCD−ROMプレーヤー(特に、High Sierraフォーマットのディスク専用の古い機種)に付属しているドライバソフトウェアが、ISO 9660フォーマットのディスクを認識できない可能性がある点だけである。その場合、〝Disk not High Sierra〟というようなエラーメッセージが表示される。問題となるドライバは、Microsoft CD−ROMエクステンション(DOSの制御下でCD−ROMプレーヤーを使用できるようにするドライバ)の旧バージョンで、このドライバはISO 9660フォーマットのディスクを認識できない。

CD−ROMをDOSで使用できるようにするために、Microsoftは、標準として少量のオペレーティングプログラムを作成し、このコードをDOSに追加することによってプレーヤーが動作するようにした。これをCD−ROMエクステンションといい、いくつかのバージョンが作成されている。バージョン2.0より前のCD−ROMエクステンションでは、High SierraとISO 9660の間で前述のような非互換性の問題が発生する。解決方法は、CD−ROMプレーヤーを購入したベンダーから、プレーヤー付属のCD−ROMエクステンションをアップグレードするためのソフトウェアを購入することである。このようなことをしなくてもすむように、CD−ROMプレーヤーを購入する場合は、バージョン2.0以降のMicrosoft CD−ROMエクステンションが付属していることを確認するとよい。

インターフェイス

CD−ROMプレーヤーとパーソナルコンピュータとの間の接続に関しても、大部分は標準化されている。市場に出回っているCD−ROMプレーヤーの大半は、SCSI(Small Computer Systems Interface)を使用してコンピュータに接続するようになっている。シリアルポートや専用の接続ポートを使用するプレーヤーや、ATアタッチメント方式のハードディスクに使用されているのと同じよ

うなATインターフェイスを使用するプレーヤーも、わずかながらある。

シリアルポートに接続したCD－ROMドライブは、9,600 bpsのコネクションしかなく、600Mバイトのデータを150Kb／secの速度で転送するといったレベルの話の場合には問題外である。専用のインターフェイスを使用するプレーヤーはもう少し速いが、古典的な問題がつきまとう。つまり、販売元が非常に限られているということである（故障の修理やスペア部品の問題があることはいうまでもない）。

22.2 WORM

CD－ROMの記録機構を、工場からパーソナルコンピュータに移動させるたものと考えれば、WORMドライブの基本的な概念が理解できるだろう。WORMは〝Write-Once、Read Multiple times（またはRead Many times）〞の頭文字をとったものであり、この言葉はシステムの特徴を正確に表している。レーザー光線が光ディスク内部のメディアと反応して、ディスク上に恒久的なダークスポットが形成される。明るい部分と、レーザー光線が形成したこのダークスポットとのパターンが、格納されたデータに対応することになる。

CD－ROMとWORMは情報の記録方法が（ダークスポットを使用するという点で）似ているため、この2つの技術には類似点が多い。WORMでも、CD－ROMと同様に、ディスクを物理的に変化させて表面の反射率を変えることによって、データを記録している。ただし、WORMドライブは、CD－ROMのマスターディスク作成装置とは異なり、ピットを刻むことはできない。WORMのメディアは購入時点ですでにプラスチックで安全に覆ってあるため、CD－ROMのようにピットを刻むことは不可能である。WORMでは、ピットを刻むのではなく、化学変化を利用してダークスポットを形成している。ディスク内部の反射メディアをダークスポットの部分だけ蒸発させるのである。

プラスチックで覆った形で販売されていることから、CD－ROMとのもう1つの違いが生まれてくる。WORMディスクの複製は、CD－ROMのように簡単ではないという点である。WORMディスクの表面は、内部でどんな化学変化が起ころうと常になめらかである。そのため、書き込みはWORMディスクごとに別々に行わざるをえない。矛盾するいい方だが、各ディスクはオリジナルであり、オリジナルのコピーでもある。ディスクを複製する場合は、一方から読み取ったデータをもう一方に書き込む（光学装置の遅い速度で数百メガバイトのデータを転送する）ことになる。たとえ、ミリオンセラー間違いなしの記録済みWORMディスクがあったとしても、これでは複製装置のボタンを押したくはならないはずである。

このような問題点があるため、WORM技術は、ごく限られた非常に特殊な用途にしか向かない。3つだけ例をあげるとすれば、データ保管システム、公文書のバックアップ保管システム、そしてデータ検索システムである。データ保管システムは、測定結果など、データの永久保存が必要な場合に使用される。WORMディスクにはメガバイト単位の情報を記録することができる上、記録後は変更が不可能になるため、データを記録時のままで残しておくことができる。バックアップシステムとして見た場合、WORMドライブはまずまずの速度と大容量を持ち、カートリッジの交換が可能であり、繰り返しになるが、データは永久に不変である。データ検索システムの場合は、メガバイト単位で参照されることがあるため、WORMの大記憶容量が生きてくる。CD－ROMではメガバイト単位の読み取りのみ可能だが、WORMでは加えてメガバイト単位での書き込みが行えるからである。そして、何度も繰り返すようだが、デー

タは永久に不変である。

暖炉に放り込んでも壊れないほどの強度はWORMディスクにはない。しかし、コンピュータ用のほかの記憶装置と比較すると、WORMは故障が少ない。電話のベルやオーロラの磁界のような一般的な現象は、どんな種類の磁気記憶装置にも影響があるが、現代のWORM光ディスクは、アセトンに浸さない限り安全である。また、（どんなに磁力が強かろうと）磁石によってデータが変更されることもない。最近の汚染された大気でさえ、WORMディスクに塗布されたプラスチックを通り抜けることは不可能である。

磁気メディアの公称耐用年数が3年であるのに対して、WORMの光学カートリッジは10年である。地殻変動でも起こらない限り、WORMカートリッジのデータは、ホストコンピュータの予想寿命よりも長く生き残るはずである。

標準規格

WORMは限られた特殊な用途のための技術であるため、製品の選択の幅は狭い。とはいえ、バラエティに欠けるというわけではない。特に、標準化されれば、選択の幅は広がることになるだろう。

WORMドライブの製造メーカーは1ダースを超えるが、市場は2社に支配されている。Literal（以前のInformation Storage社）とPanasonicである。入手可能なWORM製品の大部分は、3種類の規格のいずれかに準拠している。このうちの2つは標準化団体が制定したものだが、残りの1つはメーカー独自の規格である。

国際標準化機構（ISO）と米国規格協会（ANSI）は、それぞれ、WORM記憶システムの概要を規定した仕様を作成している。両者の定めたシステムに物理的な互換性はなく、一方の仕様に従ったドライブのカートリッジは、他方の仕様に合わせたドライブでは動作しない。仕様の差は、セクタサイズやカートリッジの色といった、容易に解決できる些細なものではない。両者の規格には、カートリッジのサイズや記憶容量、カートリッジ上のデータの記憶フォーマットなど、明白な違いがある。大部分のWORMカートリッジでは直径約5.25インチのディスクが使用されているが、ディスクを収めてある保護シェルは厚さや構成部品が様々であり、別のメーカーの製品を代わりに使用することはできない。1社のドライブ用に作られたカートリッジは、ほかの標準規格に従って設計されたドライブには装着することさえできない。

また、カートリッジのデジタルデータにも違いがある。ISOの標準規格では、カートリッジの総容量は約650Mバイトである。Pioneer、Laser Magnetic Storage、Hitachiなどのメーカーが、ISO仕様のドライブを製造している。ANSIの標準規格では、記憶容量はISOの約2倍の1.2Gバイトになっている。ISOのカートリッジはANSIのものよりもわずかに厚い。ANSIの標準規格に準拠しているドライブとしては、Literalのものがある。

Literalは、両方の仕様が混在する製品も製造している。シェルの厚みはISOの規格と同じだが、中の5.25インチのディスクには、ANSI規格のディスクと同じ1.2Gバイトのデータを格納することができるというものである。

Panasonicは独自路線を歩んでおり、専用のカートリッジに940Mバイトのデータを格納できるようにしている。意外かもしれないが、Panasonicの独自規格は、メガバイトあたりのコストが最も低いWORMシステムを誕生させることになった。

WORMドライブには、パーソナルコンピュータで最も普及している5.25インチのもののほかに、特殊な用途向けのもっと大型のシステムもある。その中で最も広く使用されているのは、広大なデジタルライブラリと情報検索システムを実現する12インチのディスクである。1枚の12インチディスクには、6Gバイト（片面あたり3.2Gバイト）のデータを格納することができる。この桁違いの容量は、ジュークボックスシステムであるWORMカートリッジチェンジャによって、さらに増やすことができる。このチェンジャを使用すると、別のディスクのデータが必要なときに、自動的にカートリッジの選択と装着を行うことができる。12インチWORMシステムのトップメーカーはSonyである。

メディア

一般的に、パーソナルコンピュータ用のWORM規格で使用されている様々なカートリッジには、金属被覆の薄いフィルムを透明なポリカーボネート樹脂の円盤で包んだメディアが入っている。実際のディスクは、耐衝撃性のプラスチックシェルに入れて保護してあり、ドライブの光学読み書きヘッドがアクセスできるように、スライドする金属のドアが付いている。

WORMディスクでは、ローレベルフォーマット済みの光ディスクも販売されている。初期のWORMドライブの一部には、カートリッジの初期化の際に、情報の読み書きのためにレーザー光線が走査する溝が必要なものがあった。この方式のフォーマットはほとんどなくなり、現在は平らなディスクが使用されている。現在の平らなディスクでは、サーボ情報は、製造時にレーザー光線によってディスク上(ディスク全体)に形成される。

WORMディスクにも、フロッピーディスクと同様に、片面のものと両面のものがある。ただし、磁気メディアとは異なり、WORMカートリッジでは、裏面にアクセスする場合、従来の塩化ビニール製のレコードのように、裏返さなければならない。

ドライブ

CD－ROMプレーヤーには読み取りという一方向のデータの流れしかないため、記録回路は不要だが、WORMドライブには記録回路が必要なため、必然的に価格が高くなる。記録を正常に行うためには、高出力のレーザーが必要である。さらに、WORM技術の市場は小さいため、大量生産によるコスト効果の恩恵にあずかることができない。そのため、WORMドライブの価格はしばしばCD－ROMプレーヤーの10倍にもなっている。

WORMドライブは書き換え可能型光学記憶技術がの簡易版ではない。この2つの技術はまったく異質なものである。どちらのシステムもレーザー光線を利用してはいるが、動作原理はまったく別ものである。書き換え可能型のディスクは、光学的に安定した2つの状態を持つ特殊なメディアを使用している。このメディアでは、レーザーと磁界を合体させた作用によって、2つの反射率の状態(場合によっては数%の差しかないが)を切り換えることができる。その意味で、書き換え可能型ディスクは磁気光学システムである。これに対して、WORMドライブでは、薄い金属製フィルムを溶かして穴をあけるためにレーザーを使用する(実際には、レーザー光線はメディア上にきわめて小さな穴をあけるだけであり、穴は表面張力によって最終的な大きさにまで広がる)。

WORMドライブ自体は、旧式のハードディスクに使用されていた5.25インチの形状を採用している(もちろん、12インチなどこれ以外のサイズのカートリッジもあるが)。現在販売されているWORMディスクでは、ほぼ例外なくフルハイトのドライブベイが必要であり、ハーフハイトの機種はRicohのものしかない。また、一時期はほぼ全製品が独自のインターフェイスを採用していたが、最近の市場ではSCSI接続が支配的で、どのWORMドライブを購入しても、SCSIインターフェイスを備えているはずである。

書き換え可能型光ディスクの開発が進むにつれて、WORM技術は業界の孤児になり、引退のときが近づいたと見なす意見が多くなった。生き延びるのもあと数年で、この技術の用途はもはやないというのである。孤児という点については、たしかに現実になろうとしている。しかし、次々に現れる新技術に追われて消え去ったほかの製品とは異なり、孤児や問題児が社会の裏側を遠慮がちに歩くように、コンピュータ産業の中で特に注目を浴びることなく、WORMドライブは今日まで生き残ってきた。孤児同様、WORMドライブは大きな可能性を持っており、せめてそれらに秘められた可能性を見直す機会が必要であろう。

近い親戚も親兄弟も子供もないという点でも、WORM技術は孤児である。WORM技術とほかの光学技術の間には、人類をクラゲや極楽鳥と比べたときほどの共通点しかない。しかし、大容量で永久に変更が不可能な記憶メディアを望む場合は、現在も将来にわたっても、WORMは唯一の選択肢であると思われる。

22.3　書き換え可能型光ディスク

フロッピーディスクドライブやハードディスクドライブの持つ柔軟性が必要なユーザーにとっては、CD－ROMやWORMは正しい選択とは思えないであろう。1日、1時間、場合によってはミリ秒単位で、何度となくデータは行き交い、変更され、転送される。たとえ情報は変更の必要がなくても、恐らく人間の気持が変りやすいせいだろう。パーソナルコンピュータの魅力は、作業結果のデータが石に刻まれるわけではなく変更可能であるという点にある。

書き換え可能型光ディスク技術は、ハードディスク上のデータが持つ利点と、光学記憶装置の高密度や永続性という利点を合わせ持っている。書き換え可能型光ディスクドライブという名称は、このドライブが達成した機能を正確に表わしている。データは、光学的な読み取りが可能な形でディスク上に書き込まれる。書き込まれたデータは、その必要があるかどうかは別として、永久にそのままにしておくことができる。また、後になって変更や書き換えを行うこともできる。このドライブの持つ可能性は非常に広く、様々なメーカーが、書き換えを可能にする技術を少なくとも3種類(**色素ポリマー**、**相変化**(**アモルファス**)、**光磁気**)開発済みか、あるいは開発中である。いずれの技術でも、光メディアでしか実現できない高記録密度と、データに変更がある場合に記録内容を更新する能力を持っている。ただし、この3つの技術はどれも弱点を抱えている。

色素ポリマー型記憶装置

CD－ROMやWORMの考え方に最も近いのが、色素ポリマーである。この記録方式では、レーザー光線の熱によって物理的な特性を変更できる特殊な素材を使用する。色素ポリマーシステムでは、薄く染色した内部ポリマーシートを、半透明の保護カバーではさんである。この色素ポリマーメディアは、レーザー光線の熱に反応して膨張し、レーザーが当たった部分に小さな突起ができる。突起によってディスクの反射率が変わるため、コンパクトディスクプレーヤーと同じ光学システムによって、この反射率の変化を検出する。もう一度書き込みができるようにディスクのデータを消去する場合は、別のレーザー光線を当てて突起を柔らかくすることによって、反射率を元に戻す。

このシステムが優れているのは、再生に関して一般的なCD－ROMディスクとの互換性がある点である。実は、色素ポリマーディスクは、実際にCD－ROMプレーヤーでの再生が可能なように製造することができる。その場合は(一度に1枚ずつではあるが)家庭で使用できる機械でCDを制作できることになる。

欠点は、色素ポリマーが物理的な反応である点だ。つまり、物理的な反応は、限られた回数しか行えない。航空機の機体表面が金属疲労を起こすのと同じで、色素ポリマー層も、少しずつ突起の形成と復元の繰り返しに耐えられなっていく。色素ポリマー素材の耐用年数は長足の進歩を遂げ、突起加工ができる回数は数回から数百へ、数百から数万へと伸びてきた。しかし、ハードディスクの代わりに使用するためには、数万回でも十分とはいえない。ハードディスクでは、同じ領域を1日に何千回も書き直すことがあるからである。

色素ポリマー技術の最大の成功例(そして、最も歓迎された製品)は、Tandy社が開発したTandy High-performance Optical Recording (THOR)システムである。発表されたのは数年前だが、THORは現在も開発中であり、市場には登場していない。

相変化(アモルファス)型記憶装置

相変化型の書き換え可能型光ディスクシステムでは、記録メディアは、結晶状態と非結晶状態の間で変化して、デジタルコードの1と0を記憶する。つまり、記録可能な素材は、規則正しく並んだ格子状の結晶と、圧縮された粉末のように構成分子が不規則に並んだ形(アモルファス状態)とに、

部分的に変化させることができる。この場合、メディアの化学的な組成は変化しないが、反射率が変化する。結果として、デジタル情報をコード化して記録するのに適した明暗部分が形成されることになる。

前述の状態の変化は、WORMドライブの一部が使用しているメディアの変形の代わりになる。そのため、販売されているWORMドライブの中には、実際にこの技術を使用して、2つの用途を兼ねた装置（1台のドライブで書き換え可能型ディスクとWORMカートリッジの両方を利用できる装置）として機能させているものがある。この装置では、ほとんどの場合、ただセットするだけでどちらの種類のディスクでも使用することができる。ほとんどの場合というのは、WORMカートリッジの標準規格と書き換え可能型ディスクの標準規格の差が問題になる場合があるからである。

相変化の技術は、色素ポリマーと同じ欠点を抱えている。記録メディアの耐用年数が短いのである。結晶状態から非結晶状態への物理的な変化によって素材が疲弊してしまい、変化しなくなってしまうのだ。

色素ポリマー技術と相変化技術は、ともに疲弊しやすいという欠点を抱えているが、どちらがコンピュータ用の記憶装置として成功を収めるかは、用途と耐用年数をどこまで伸ばせるかにかかっている。一般的に、相変化型メディアの相変化可能回数は1万回を超えるところにまで達している。コンピュータ用の記憶装置としては、数千回の変更が可能なら十分であるように思えるかもしれないが、残念ながら数百万回でも従来のパーソナルコンピュータ用大容量記憶装置としては不十分である。ディスク上では、ユーザーによって頻繁に消去や書き換えが行われるだけではなく、ユーザーがファイルの作成や追加を行うたびに、DOSによるファイルアロケーションテーブル（FAT）の変更が行われるからである。その結果、1日に行われる書き換えは数千回に及ぶことがある。相変化型の光メディアを一般的な磁気メディアのように使用すると、すぐに故障してしまい、まず、ディスクで最も重要な記憶領域であるFATにエラーが発生することになる。

とはいえ、相変化型メディアや色素ポリマーメディアが役に立たないわけではない。通常のDOS操作には適当でないというだけである。優れた技術によって、FAT部分のメディアの変質を最小限にとどめることは可能である。たとえば、FAT部分のメディアが疲弊する前に、FATを別の領域に移すことが考えられる。また、相変化型ディスクは、従来の磁気ハードディスクをバッファにすれば効果的である。通常のデータ変更はハードディスク上で行い、適当な時期に変更内容を光ディスクドライブのデータに反映させるのである。相変化型ディスクは、限られた回数の書き込みしか行わない特殊な用途にも適している。家庭用オーディオ向けの書き込み可能型デジタル記憶システムはその例で、Tandy社のTHORはこの用途に向けられたものである。一般のユーザーは、ディスクの特定領域への書き込み回数は少ない（数千回程度だろう）ので、メディアが過度に使用されることはないだろう。

光磁気型記憶装置

3番目に紹介する光磁気技術は、書き換え可能型光ディスク方式ドライブの主流となっている技術である。そのため、現在、ほとんどの書き換え可能型光ディスクドライブは、**「MO（magneto-optical）ドライブ」**と呼ばれる。

「光磁気」という名称は、この技術を利用する製品の基本的な仕組みを表している。ディスク内の記録メディアは、基本的には、磁界を利用して情報を記憶する磁性体である（ただし、ハードディスクやフロッピーディスクのものとは異なる）。光学技術は、磁気機構の補助としてのみ使用され、書き込み場所を指定する際の精度を上げる役目を果たしている。磁気機構が書き込みを行うディスク上の特定の場所に細いレーザー光線を当てて、メディアのその部分を記録可能な状態にするのである。一方読み取りの場合は、MOドライブは光学的な機構しか使用しない。レーザー光線自身が、ディスクから磁気的に記録されたデータを読み取る。

この光学技術と磁気技術との融合は、必要性から生まれたものである。ほかの書き換え可能型光ディスク技術からもわかるとおり、一番の問題は、

メディアを書き換え可能にすることではなく、書き込み操作を何度行ってもメディアを書き換え可能な状態のままに保つことである。記録面を何度も物理的に変形させていると、素材は疲弊する。これがメディアの寿命である。ディスクを二度と書き込みができない状態に変形させるWORMシステムがよい例である。光磁気型記憶装置では、記録処理の際、磁性体が物理的に変形するわけではない。変化するのは磁性体粒子の磁界だけである。

磁気極性の変更については詳しく研究されており、極性の完全な逆転が可能であると考えられている。従来の磁気メディア（ハードディスクやフロッピーディスク）ではこれを利用している。MOドライブもこの解明済みの原理に基づいているため、一般的に、書き換え可能な回数に制限はないと考えてよい。疲弊、疲労、故障、データ損失などの心配もない。しかし、磁気技術と光学技術の併用はさほどうまくはいかない。レーザーは、個々の磁性粒子から磁界を消去するときに、WORMディスクのレーザー照射機構と同様、磁性体を熱するために使用されているだけで、レーザー自体には素材の磁気極性を変更する能力はない。磁気的に書き込み、光学的に読み取るという方法では、今後、光学記憶装置が独自の地位を占める可能性はない。磁気ヘッドを書き込みに使用する限り、従来のハードディスク以上の密度で情報を詰め込むことはできないからだ。したがって、わざわざレーザー光線の細い針を使ってデータを読み取る必要性はなく、光学技術のを使用する理由はまったくないのである。

MOドライブの技術は、小さな領域にレーザー光線を当てて、従来から利用されてきた磁界によってその領域を記録可能な形に変化させるというアイデアに基づいている。また、ディスク上の粒子の磁化の方向を、レーザーによって読み取ることができるという発想も使用されている。

■書き込み操作

MOシステムの書き込み処理では、磁界とレーザー光線の併用による効果を利用している。バイアスフィールドという従来から利用されてきた磁界を使って、データをディスク上に書き込む。そのため、磁界の持つ性質は、ハードディスクの場合と同じ要因によって制限されている。つまり、書き込みを行える磁気領域のサイズは、読み書きヘッドとメディアとの距離で決まる。また、そのサイズは、実際の距離とは関係なく、レーザー光線の焦点のサイズよりもはるかに大きい。

MOドライブでは、磁気領域のサイズを極小にするために、磁気による書き込みの補助手段としてレーザー光線を使用している。レーザーは大きな磁気領域のごく一部だけに照射され、その部分だけが磁界の影響を受ける。

磁気による書き込みの補助にレーザー光線を利用する方法がうまくいくのは、MOディスクに最適な磁性体を選択しているからである。MOディスクに使用する磁性体は、従来のハードディスクのものとは異なり、保磁力が強い（保磁力とは、磁化の方向を変化させようとする力に対する抵抗力のことである）。一般的なハードディスクの磁性体は600エルステッド程度であるが、MOドライブではそれよりもはるかに高いものを使用している。

この高い保磁力は、従来のハードディスクに対するMOディスクの最大の利点の1つである。MOディスクでは、磁界が自然消滅しにくいのである。一般に、磁気メディアは、磁界が自然消滅する性質を持っている。つまり、時間が経過するつれて、外部や内部の磁界から受けるさまざまな影響によって、磁界の強度が低下する。放っておけば、磁界はどんどん弱くなってしまう。保磁力が強ければ、磁性体の磁界の自然消滅がそれだけ遅くなる。したがって、保磁力の高い磁性体を使用したMOディスクでは、ハードディスクよりも長期間にわたって、データに対する高い信頼性を維持することができる。

MOディスクの公称耐用年数は10～15年である。MOディスクが誕生してからはまだ10年に過ぎないため、これを証明するのは困難だが、業界の関係者の間では、上記の公称値は控えめな数字だと考えられている。従来のハードディスクでは、記録内容の整合性を保つために、リフレッシュを毎年行う必要がある。大型コンピュータ用のデータテープの場合は、1年置きに行うのが一般的である。MOディスクのメディアでは、リフレッシュ

が必要な場合でも、実行する間隔をかなり延ばすことができそうである。

MOディスクでは、磁性体の保磁力が強いため、周囲の磁界から受ける影響に対する抵抗力も高い。冷蔵庫のドアにメモを貼るような磁石は、フロッピーディスク上のデータを破壊してしまうほど強力だが、MOディスクにはほとんど影響がない（だからといって、冷蔵庫用の磁石を使って、システムユニットにMOディスクを貼り付けるようなことをしてはならない）。また、周囲の磁界に対する抵抗力が高いため、MOカートリッジの保管場所や保管方法に気を配る必要もない。

MOメディアの高い保磁力は、このような利点以外に、別の課題をもたらすことになった。記録領域のサイズを大きくしなくてもメディアの磁化の方向を変更できるほどの、強い磁束を実現しなければならないのだ。MOドライブ内のバイアス磁石に対するレーザーの補助の仕方でこの高い保磁力のレベルを下げることができる。

ほかの磁性体と同様、MOで使用している磁性体の保磁力も温度が上がるにつれて減少し、キュリー温度と呼ばれるメディア固有の温度に達すると、保磁力はゼロになる。MOディスクのメディアの温度をキュリー温度近くまで上げてやれば、磁気極性の変更に必要な磁界強度を、実現可能なレベルにまで下げることができる。MOディスクに使用されている磁気メディアは、キュリー温度が低くなるように（150℃前後）特殊な技術によって開発されたものである。

MOディスクの読み取りに使用しているレーザーは、容易に出力を上げて、記録メディアをキュリー温度まで熱することができる。また、細く絞り込んで、焦点のサイズを極小にすることも可能である。磁界はメディア上の広い領域を覆っているが、必要なレベルに保磁力が下がっているのはレーザーで熱せられた小さな焦点だけなので、実際に磁化の方向が変化するのはその部分になる。

この考え方に基づいて設計された実際の機構は、本質的な欠点を内包している。ディスクに対してセクタ単位やトラック単位の大量の書き込み処理を行っている間、バイアスフィールドが一方向を向いたままになっていなければならないのである。バイアスフィールドを形成している電磁気には高いインダクタンスがあって、磁気極性が急激に逆転するのを妨げているため、極性は急には変化しない。MOディスクのバイアスフィールドには、ハードディスクのものよりもはるかに大きく強力なものが要求される。光磁気を利用するヘッドは、ディスクとの距離をかなりとる必要があるからである（ヘッドは、トラック上を移動するわけではなく、トラック上に固定されている）。

このように、バイアスフィールドの極性は急には変化しないため、現在のMOドライブでは、内部のバイアス磁石によって、トラックが読み書きヘッドの下を通過するときに、ディスクのトラックの特定領域の磁界の方向を一方向にだけそろえることができるようになっている。たとえば、バイアスフィールドが上向きの極性を持っている場合には、ディスク上の下向きの極性を持った磁界を上向きに変更することはできるが、上向きの極性を持った磁界は下向きには変更できない。

このため、現在、実際に販売されているMOシステムでは、2段階の書き込み処理が必要である。ディスク上のある領域に書き込みを行う場合は、まず、その領域のすべての磁界を一方向にそろえる。つまり、書き込みを行う領域だけ、データをすべて消去してしまうのである。一般的なMOドライブの設計では、この消去処理を行うために、一時的にバイアス磁石の極性を逆転させた上で、このバイアス磁石の下を、消去する領域が一度通過するようにしなければなければならない。消去のために事前に書き込み用の領域を通過させた後、磁気ヘッドの磁気極性をもう一度逆転させて、書き込みの方向にする。実際にディスクに情報が書き込まれるのは、この後、領域が2度目にヘッドの下を通過するときである。なお、磁気極性が逆転するのは、レーザー光線の照射によって熱せられた領域だけである。

この2段階の処理の欠点は、データの書き込みときにMOドライブのアクセス時間が目に見えて増加することである。原因は、2度目の通過までの余分な待ち時間である。MOドライブのデータ転送速度は製品によって様々だが、ディスクの回転速度は毎分2,400回転という遅いものが多い。こ

れは、おおまかにいって、ハードディスクより3分の1ほど遅い(一般的なハードディスクは毎分約3,600回転である)。したがって、MOシステムのディスクが1回転するためには25ミリ秒を要することになる。ヘッドの移動がないことを考えても、MOドライブの平均アクセス時間は、37.5ミリ秒以下にはならない(平均的に、データの消去には読み書きヘッドから半回転分の12.5ミリ秒が必要であり、データ書き込みのための2回転目にはさらに25ミリ秒を要する)。MOドライブの回転速度が遅いことはメーカーも認識しており、〝1回通過書き込み方式〟のものや、ディスク回転速度を上げたものを開発中である。最近の製品には、ハードディスクと同様の3,600 RPMの高速な回転速度を持つMOドライブもある。

MOドライブには、速度に関する欠点がもう1つある。ハードディスクの読み書きヘッドが、一般的に、1グラムの数分の1という超軽量の機構であるのに対して、MOドライブのヘッドは、磁気機構と光学機構の部品を組み合わせた重量級のメカニズムなのである。通常、このヘッドは、レール代わりの2本の平行な鋼鉄パイプ(ガイドロッド)に沿って移動する箱に収められている。この重いヘッドを移動するためには、強固な機構が必要であり、慣性の法則のために、ハードディスクに比べて、加速、減速、停止にかなりの時間がかかる。そのため、平均アクセス時間は、ハードディスクとは比較にならない。今や、ハードディスクのデータ書き込み時間は、ランダムなバイト間で15ミリ秒である。一方、MOディスクの場合は、最速の製品でも30ミリ秒以上である。これは、書き込みに2回転が必要な点を考慮しない数値である。

しかしながら、MOドライブで使用されている光学ヘッドは、以上の欠点を補うだけの長所がないわけではない。ハードディスクのヘッドは、できる限りのデータを詰め込むために、ディスク表面の数マイクロインチ上に浮いている必要がある。これに対して、MOドライブの光学ヘッドは、離れた場所にあってもかまわない。ガイドロッドによって、ヘッドとディスクは常に同じ距離を維持することができる(同時に、安全が保たれることになる)。この距離は、ハードディスクのヘッドの場合と比べると、はるかに大きなものである。したがって、ヘッドがディスクに接近することはないため、クラッシュはありえない。実際にディスクの表面に接触するのは、レーザー光線だけである(指が当たることがあるため、MOカートリッジの保護シェルのドアの内部には触れないように注意する必要がある)。

MOディスクでは、光学的に使用可能な面は、傷が付かないように、透明な固いプラスチックの層で覆われている。レーザー光線は、この透明なカバーを透過する。焦点が、ディスクの表面ではなく、透明な表層の下で収束するようになっている。このため、最上層の透明カバーに傷やほこりなどの異物が付いていても、データの読み書き精度にはほとんど影響がない。MOドライブにも、当然、記録されたデータストリームにエラーが現れるのを最小限にとどめるために、エラー訂正回路が組み込まれている。

■読み取り操作

普通、電子装置が発生する一般的な電界強度では、レーザー光線は磁界との反応を起こさない。たとえば、通常のケーブルが影響を受けるような一般的なレベルの電磁気ノイズは、光ファイバーケーブルにはあまり影響がない。したがって、MOディスクの小さな磁界を読み取れるレーザーを獲得することは大きな挑戦である。

MO技術で採用された方法は極性の利用である。ほかの光ディスク技術と同様に、MOディスクでも、ディスクの表面から反射してくるレーザー光線を使用して読み取りを行う。ただし、MOディスクでは、レーザー光線が極性を持っている。すなわち、レーザー光線の光子の方向が、一方向にそろっているのである。極性を持った光線がディスク上に磁気的に並んだ粒子に当たると、粒子の磁界によって、光線の極性面がわずかに回転する。この現象をカー効果という。回転の程度は、初期のMOメディアでは1%であり、最近の報告でも7%に過ぎないが、この極性の変化は、ハードディスクのデータを直接、磁気ヘッドで読み取る場合と同程度の正確さで検出することができる。極性を与えられた光線が極性を持った別の素材を通過

したときの減衰率は、光線の極性がどの程度素材の極性と一致しているかによって決まる。結果的に、極性の変化は、反射光線の強度の変化として容易に検出することができる。

■ 標準規格

MOドライブでもまた、データの交換は標準化に依存している。データを交換するためには、ある機種で書き込んだカートリッジを、別の機種で読み取ることができなければならない。初期の様々な製品以来、ISOが5.25インチと3.5インチのMOカートリッジに関する一連の仕様を制定するまでには、長い期間が必要であった。ISOの標準規格では、ISO規格に準拠したドライブであればどこの製品を使用しても、ISO規格のカートリッジを読み取ることができなければならないと定められている。当たり前の声明文のように思えるかもしれないが、これは複雑な問題を抱えている。

5.25インチのMOディスクの場合、ISOの標準規格は実は二重標準になっている。この規格では、1,024バイトセクタのデータを記録するものと、512バイトセクタのものという2種類のカートリッジの存在を許しているのである。セクタを大きくすれば、オーバーヘッドが減少するので(セクタ認識マーカーが少なくてすむという利点もある)、1,024バイト単位のセクタを持つカートリッジには、512バイト単位のセクタを持つカートリッジよりも多くのデータを収めることができる。1,024バイトセクタのカートリッジのデータ記憶容量は、約650Mバイト(片面あたり約325Mバイト)である。これに対して、512バイトセクタの場合は約594Mバイト(片面あたり約297Mバイト)である(594Mバイトという数字は、概算値の600が使用されることが多い)。実際の記憶容量は製品によって様々で、ハードディスクと同様に、光磁気型のカートリッジにも、データの格納に使用できない不良セクタが存在する場合があるため、必然的にこの数字よりも少なくなる。小型の3.5インチカートリッジでは512バイト単位のセクタが採用されており、128Mバイトのデータを記録することができる。トラックあたりのセクタ数は128であり、カートリッジあたりのトラック数は10,000である。

ISOの標準規格のもとでは、5.25インチのドライブは、512バイトセクタと1,024バイトセクタの両方のカートリッジを読み書きできなければならない。標準規格の制定以前に開発されたドライブ(または、標準規格の存在に気付かなかったメーカーが開発したドライブ)では、使用可能なセクタサイズが限られている場合がある。また、MOドライブのメーカーの中には、ISOの標準規格に準拠せず、独自の記憶フォーマットを採用しているものがある。たとえば、Maxtorが開発したTahitiドライブでは、ISOの仕様を拡張して特殊なフォーマットとデータ格納法を採用し、カートリッジあたり1Gバイトの記憶容量を実現している。定線速度記録方式によって、外周の長いトラックにデータセクタを増やしたのである。ISOは、対照的に、定角速度(ディスクの回転速度が一定)記録方式を推奨している。この方式では、ディスク上の全トラックのセクタ数が等しくなる(つまり、トラックあたりの記録可能なデータ量が同じになる)。

ISOの規格で最も重要なのは、MOカートリッジとその内部のメディアを厳密に規定している点である。これには、カートリッジの物理的な互換性を確保するという目的だけではなく、メディアの供給元を増やして入手を容易にするとともに、製造単価を下げるねらいもある。

しかし、パーソナルコンピュータのあまりにも数多い“標準規格”と同様に、ISOの標準規格は、MOドライブで書き込んだカートリッジの別のMOドライブでの読み取りを保証する万能薬ではない。ISO規格では、ディスクにデータを記録する際の物理フォーマットは規定しているが、論理フォーマットについては規定されていない。そのため、様々なシステムインテグレータが、それぞれ独自の方式でディスクのパーティションを行っており、あるメーカーのMOシステムが使用しているドライバソフトウェアは、ほかのメーカーのパーティションを認識できないという状態にある。なお、バージョン5.0の登場によって、DOSに対するメーカーの見方は変化したように思えるが、DOSのパーティション方式を採用しているMOドライブのシステムインテグレータはほとんどない。

■ 速度

平均アクセス時間とディスクの回転速度（これによってデータ転送速度が決まる）の問題を別にすれば、MO システムの全体的な速度は、MO カートリッジのフォーマットによって決まる。MO カートリッジの記憶容量を上げる方法（および、ディスクのフォーマット方法とセクタあたりのバイト数）は、ドライブのデータ処理速度に影響する。32M バイトという DOS の標準的なボリュームに合わせてカートリッジにパーティションを行うと、独自のパーティション方式（ディスク片面の記憶容量全体を単一のボリュームとする）を使用するドライブの半分の実効処理速度しか実現できない。このような速度差が生じるのは、ボリュームが大きな MO カートリッジでは DOS の記憶クラスタも大きくなり、クラスタが大きくなれば、データの転送量が増えた場合に問題となるオーバーヘッドが減少するからである。

また、ISO の標準規格によって、MO ドライブとホストコンピュータとの接続には SCSI を使用するように定められているため、MO ドライブの速度は、一般的なハードディスクよりも製品による差が激しい。SCSI インターフェイスの採用は、柔軟性という点では優れた選択だが（たとえば、1 台のホストアダプタには 7 台までの SCSI 機器を接続することができる）、DOS ユーザーにとっては足かせになりかねない。ISO 仕様の光磁気型ドライブでは、DOS ベースのコンピュータ用のほかの SCSI 機器と同様、使用する SCSI ホストアダプタの速度がボトルネックになることがある。高性能の SCSI ホストアダプタを使用すれば、回転するディスクから取り出したデータを、現在の最高速のハードディスク並みの速度で転送することができる。性能の低い SCSI アダプタでは、大容量データの処理速度が本来の最高速度の 10%程度に制限され、システム全体の速度が著しく低下してしまう。

■ メディア

名称は 5.25 インチとなっていても、5.25 インチのカートリッジに入っている光ディスクは、通常、実際の直径が 130mm（5.12 インチ）しかない。カートリッジ自体のサイズは高さ 0.43×幅 5.31×奥行き 6.02 インチであり、3.5 インチのフロッピーディスクと同様に、スライド可能な金属シャッターによってディスク自体が保護されている。いわゆる 3.5 インチの光磁気ディスクには、実際には直径 90mm のディスクが入っている。カートリッジのシェルは、サイズも外観も、MO ディスクの方が厚い点を除いて、3.5 インチのフロッピーディスクに近い。

MO ディスクの磁気メディアは重層構造になっている。まず、プラスチックの基盤に誘電体を塗布して絶縁する。その上に、実際の光磁気型の複合素材（鉄とコバルトに、希土類元素であるテルビウムを混ぜた合金）を重ね、別の誘電体を塗布して保護する。最上部にはアルミニウム層を形成し、データ検索用の反射面とする。次に、この層構造の表面を厚さ 0.30mm の透明なプラスチックで覆う。ディスクは片面ずつ製造し、最後に裏面どうしを貼り合わせて、両面を持つメディアに仕上げる。

従来のハードディスクが、同心円状の多数のトラックまたはシリンダにデータを格納するのに対して、ISO 規格の MO ドライブでは、レコードの音溝のような、連続した 1 本のらせん状のトラックを使用する。らせん状のトラックは、ドライブのデータ転送には最適である。データの転送量が増えても、トラック間を読み書きヘッドが移動する必要がなく、ディスク上をスムーズに走査することができる。

一般的に、光メディア、特に MO ディスク製品に関してよく指摘される長所は、記憶容量が大きい点である。しかし、MO ディスクシステムの記憶容量は、磁気ドライブで実現されている容量と比較して、はるかに大きいといえるほどではない。たとえば、3.5 インチの光磁気ドライブの記憶容量は、現在の最新鋭の 3.5 インチ磁気ハードディスクよりも小さい。5.25 インチの光磁気ドライブでさえ、記憶密度は MO の方が優れているにもかかわらず、磁気ドライブの容量を上回ることができない。

ただし、ハードディスクと MO ディスクの容量を単純に比較すると、誤解することになる。両者

の公称記憶容量はほぼ互角であり、この2つの技術は戦う土壌が異なっているからである。5.25インチのディスクを使用するドライブの場合は、どちらの技術でも最高1Gバイト前後という同じような公称記憶容量を実現している。しかし、ハードディスクの方が、8枚の内部ディスク(15面に記録可能)で構成してこの容量を達成しているのに対して、MOドライブでは、データ記録密度が高いため、着脱式カートリッジに収めた1枚のディスクで同じ数字を実現している。

MOカートリッジの公称記憶容量は、実際に記録が可能なデータ量を表しているわけではない。5.25インチのMOドライブの公称記憶容量は600~1,000Mバイトの範囲にあるが、実際に一度に利用できるのは、メーカーの公称数値の半分である。現在のカートリッジ内のディスクは、データを両面にわたって記録するようになっているが、MOドライブには読み書きヘッドが1つしかない。したがって、一度に読み書きできるのはカートリッジの片面だけである。裏面にアクセスするためには、カートリッジを実際に取り出して裏返し、もう一度装着する必要がある。結局、カートリッジの総容量の半分しか一度には使用できない。

また、MOドライブでは、通常、カートリッジ単位で記憶容量を計算するが、ドライブ単位では記憶容量は無限である。スペースがなくなった場合は、新しいディスクを装着するか、ドライブ内のディスクを裏返してやればよい。費用が許す限り、新しいディスクを手に入れることができる(現在、カートリッジの価格は1枚あたり約250ドルである)。もちろん、無制限とはいっても、一度にアクセスできるのは約300Mバイトに限られる。

MOドライブのメーカーのほとんどは、ジュークボックスシステム(**オートチェンジャ**と呼ぶ場合もある)も販売している。この装置を使用すると、数枚のディスクを自動的に交換することによって、50~100Gバイトの驚くべき記憶能力を実現することができる。オートチェンジャによって正しいカートリッジが装着されて速度が出るまで、ユーザーはほとんど待たずにすむため、この装置はニアライン記憶装置とも呼ばれている。ただし、ジュークボックスシステムは個人ユーザーが気軽に予算を組めるほど安いものではなく、情報サーバ向けの製品である。

■用途

MOカートリッジのらせん状のトラックについて、設計者たちは、必ずしもデータへのランダムアクセスに最善の方法ではないが、連続した大量のデータの転送には適していると考えている。したがって、現在のMOドライブシステムは、あらゆる用途に関して、大容量記憶装置としてハードディスクに完全にとってかわろうとしているわけではない。現時点での役割は、ハードディスクとストリーマテープの間にある未開拓の領域を埋める、補助的な記憶装置であると思われる。

要するに、MOドライブはあらゆる用途に適しているとはいえないが、数百メガバイトのデータを格納するための安全で確実な手段が必要な場合には、賢明な選択となるだけの長所を備えているということである。非常に大きなファイルを簡単にやりとりできるだけの記憶容量があることから、用途の候補としては、グラフィックスやオーディオ/ビジュアルのシステムがある。たとえば、エンジニアなら、巨大なCADファイルをMOカートリッジに収めて、保管しておくことができる。

MOドライブは優れたバックアップ手段にもなる。特に、ネットワークでの使用には最適である。1枚のカートリッジで、最大容量のハードディスクを除くすべてのハードディスクをバックアップすることができる。さらに、カートリッジのデータが書き換え可能である点に注目すれば、バックアップメディアを定期的に再使用することが多い場合にも、MOドライブは適当である。テープメディアと比較すると、MOディスクからのファイルの復元は速くて安全である。ただし、MOカートリッジは、同容量のオープンリールテープやカートリッジテープよりも少なくとも2倍は高価である。

MOディスクは、データの保管庫としても優れている。カートリッジは小さいため、ブリーフケースに何枚も入れて持ち運ぶことができる上、金庫に保管するのも容易である。強い保磁力のおかげで、磁界の自然消滅も実質的にないに等しく、外部磁界に対する抵抗力が高いため、記録されたデー

タの耐用年数も長い。

システムによっては、MOドライブが主要な大容量記憶装置としての地位をハードディスクにとって代わりそうである。適切なキャッシュソフトウェアがあれば、MOディスクドライブの見かけ上の速度を従来ハードディスクに近いレベルまで上げることができるからだ。ただし、キャッシュミスの場合は、アクセス速度は目に見えて遅くなる。

ただし、現在はまだ、ハードディスクの役割は終わったというのは尚早である。書き換え可能な光磁気ディスクがハードディスクに取って代わるまでには、もう少し時間がかかると思われる。新技術が通常そうであるように、MOもやがて、自分の長所を生かした新しい役割を持って大きな成功を収めることだろう。現時点でも、MOの技術は有用であり十分通用する。パーソナルコンピュータの用途を変えるだけの可能性を持っているのである。

22.4　フロプティカル記憶装置

光磁気型ドライブが2つの技術の組み合わせから生まれたように、フロプティカルディスケットドライブも2つの技術を併用している。MOドライブは、ハードディスクから市場シェアを奪い取ろうとしているが、フロプティカルディスケットは、フロッピーディスクを対象としている。

フロプティカルディスケットの一番の魅力は記憶容量である。現在、従来のフロッピーディスクに格納できる最大のデータ量は約2.88Mバイトであるのに対し、最新のフロプティカルドライブでは、同じサイズのパッケージに、21Mバイトのフォーマット済みデータを格納することができる(未フォーマット時には25Mバイトである)。

フロプティカルディスケットは、3.5インチのフロッピーとサイズが同じであるというだけではなく、実際に、従来のフロッピーディスクでもフロプティカルディスクドライブで使用できる。このドライブには、1.44Mバイトと720Kバイトのフロッピーディスクとの下位互換性があるのだ(2.88Mバイトのものは使用不可)。新しいドライブなら、従来の磁気フロッピーディスクに対して、読み取りと書き込みの両方が可能だろう。

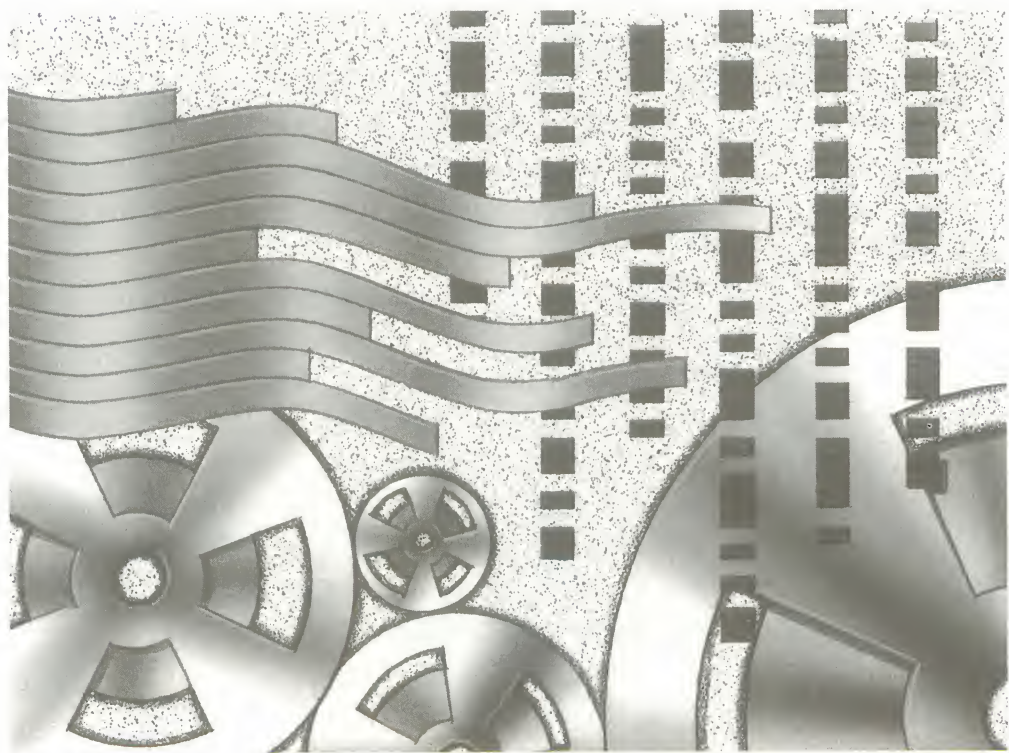
この互換性は、フロプティカル技術が磁気による記録方法であることに由来している。ディスク上のデータが、光のビーム、すなわちレーザー光線を浴びることはない。特殊な高密度の記録メディアとヘッドを使用することで、フロッピーディスクを上回る記録密度を達成しているのである。

フロッピーディスクが抱える最大の問題点は、大容量磁気記憶装置の主役であるハードディスクが直面しているものとはまったく異なる。ハードディスクでは、メディアからその上を浮遊する読み書きヘッドまでの距離によって、データの密度が決まる。フロッピーディスクでは、ヘッドがメディアと接触しているため、(そのほかの条件がまったく同じ場合は)理論的には、ハードディスクの記憶密度を上回ることが可能である。

フロッピーディスクの問題点は、その名の示す性質にある。変形しやすくサイズが一定しないため、不可能ではないにしても、ひしめき合った細いトラックを正確に追跡することは困難である。温度が変化すればディスクに膨張や収縮が発生し、シェル内での回転時にはゆがみが生じる。

フロプティカルドライブでは、光学的なサーボトラックを使用してこの問題を解決している。ディスクへの書き込みや読み取りの際には、特殊な光学的サーボ機構が、読み書き用磁気ヘッドを適切な位置に保つ。光学的なサーボ情報は、製造時にディスク上に形成されるため、記録プロセスによって変更されることはない。事実、サーボ情報は通常の手段では消去不可能である。フロプティカルディスクを消磁器の下を通すことはできるが、そのサーボ情報は消去されない。

第23章

テープ

テープの役目はデータのバックアップで、万一事故があった場合でも貴重なデータが消滅してしまわないようにする保険である。フロッピーディスクが何Mバイトも記録できる時代に入り、交換メディアとして規格化されたいくつかのテープシステムも利用できようになった。テープシステムには、容量、速度、使いやすさが異なるいくつものフォーマットが存在するが、最も良いテープシステムは、使用中のトラブルが最も少ないものである。

我々は非常に貴重なデータを、それらを守るという目的で、難しい機械の詰まった密封されたブラックボックスに預けている。しかし、当の機械は極めて精巧にできていると同時に、たいへんに壊れやすく、電気ショック、衝撃、さらには老朽化といった様々な害によって、容易に損傷を受けてしまう。一歩間違えば、我々の貴重なデータは破壊されてしまうのだ。

このような信頼性の不完全なものはビジネスでは使用できないし、厳格なパーソナルコンピュータの世界ではまったく役に立たない。しかしこれは、ハードディスクにファイルを保存する際に常につきまとう障害なのである。我々はいつか再びデータが読み出せることを期待して、密封された複雑なブラックボックスの中にデータをしまっている。それが可能なことは技術によって約束されているが、万一読み出せなかったときのために、バックアップシステムとして使用するテープシステムというものが我々に与えられているのだ。

テープシステムを使用すれば、貴重なデータのコピーをテープという移動可能なメディアに素早く取って、別の安全な場所に保管することができる。こうすれば、事故が起こってしまった場合でも（不可避的に起こってしまうものであるが）、バックアップがテープに取ってあるため、破壊されたオリジナルデータの替わりにすぐ使用できる。この考え方は単純だが完全とはいい難い。テープシステムには様々な種類があって選択肢は多様だが、そのいずれもが共通に欠点を持っているのだ。

まず、費用がかかるのはもちろんのことだが、実際にかかるのはお金だけではない。テープにバックアップを取るにはそれだけの手間もかかる。バックアップを取る行為は、コンピュータにとっては奇跡の薬や不思議な薬というよりも、ひまし油のようなものに近いだろう。ひまし油は、味は悪く、理論上はほとんど価値は認められない。誰もどういう効き目があるかは知らないが、昔から効き目があるといわれてきたために、我慢して飲んでいるのである。しかし、いくらひまし油に砂糖を混ぜても、やはりひまし油（そしてその必要性）はなくなればいいと思っているであろう。テープシステムもこれと同じようなものである。まったく必要はないという確信がもてないままに、いやいやながらひまし油を飲み込むように、万一の安全性を提供するテープシステムを利用しているのである。

23.1 背景

テープは初めての大容量磁気記憶システムであり、その歴史は第二次世界大戦の終わりに遡る。最初、テープは声や音楽を録音するために使用されていたが、まもなくコンピュータの世界でも使われるようになった。メインフレームで最初に使用された原始的な記憶システムである穿孔カードや穿孔紙テープに代わる、便利な代替品として使用されたのが最初である。その後は、情報の移動がテープの重要な用途となった。1巻またはそれ以上のテープを使って、簡単にシステム間でのデータベースの移動が可能となった。そして、主要な記憶装置の座を磁気ディスクに奪われてからは、テープシステムは磁気ディスクのバックアップに使用されるようになった。

パーソナルコンピュータはメインフレームの環境で発展したテープの恩恵を受けてきた。パーソナルコンピュータでは、テープは主要な記憶装置と考えられたことはない（例外は最初のPCで、設計者達はこのマシンにカセットポートを付けたが、何百万ものユーザーはこれを無視した）。テープは現在置かれているのと同じバックアップメディアとしての役割を持って、パーソナルコンピュータの世界で使用され始めた。ソフトウェアのベンダーの中には、この大容量で安価なテープカートリッジという記憶装置を、ファイル交換のメディアとして注目したところもあったが、標準化しようという試みは実を結ばなかった。実際、数年間にわたって標準化の試みは続けられたが、一度として真剣に検討されたことはなかった。

テープは物質的な存在としては、簡単であると同時に難解でもある。設計としては簡単で、1本の長く薄いリボンという連続したメディアを使用するため、情報を記憶されたままの順序に保つことができる。これに対し、難解な点はその構造に使用される材料である。

テープは大きく分けて、**バッキング**（基材）と**コーティング**という2つの層でできている。バッキングは、早送りや巻き戻しをしたときでも切れないように、テープに強度を与えている。バッキングの品質の向上はプラスチック産業の発展によるものだ。最初に作られたテープのバッキングは紙であった。その後、50年代の初頭に市販用テープレコーダの生産が始まったすぐ後には、セルロースアセテート（これと同じプラスチックが30年前に写真のセーフティフィルムに使用されていた）が採用された。最高水準のプラスチックは、二重編みのレジャースーツで知られるポリエステルである。テープでは、このポリエステルが時代を越えて使われている。ポリエステルは、柔軟性と、ほとんど伸びることがなく長期間の使用に耐える強度を持っているからである。テープには、高速な往復走行や急な方向変換といった、今日の過酷なメカニズムによる様々な力にも耐え得る品質が必要なのである。

コーティング技術もあらゆる磁気メディアと同様に、何十年にも渡り発展を続けてきた。大部分のテープは磁気酸化物でコートされているが、バインダー（結合剤）に純粋な金属分子を分散させたコーティングや、金属を蒸着したフィルムも使用されてきた。テープのコーティングはほかの磁気メディアと同じ原理が基本になっているので、形は異なっても構造は同じである。

バックアップシステムでは、テープの構造だけでなく、そのパッケージも重要である。テープのパッケージがどのような形かによって、テープを読み書きするのに必要なメカニズムが決まるからだ。

これまでパッケージについては、より便利な形を目指して改良が行われてきた。もともとテープは、テープが巻き付いているリール（スプール）と、巻き取る側のリールが別々になっていため、古い16mmフィルム映写機のように、苦心してテープを通さなければならなかった。これに対し、ある賢い技術者が、補給と巻き取りの2つのリールを1つのカートリッジに納めることを考案したことにより、テープを通すという手間は要らなくなった。カートリッジが標準化されてからは、テープ

の開発技術者たちはそのカートリッジにどれだけ多くのデータを詰め込むかということに重点を置くようになった。

このような努力の結果として、現在パーソナルコンピュータに接続できるテープシステムには、多くの規格が生まれている。主要なテープシステムは4種類ある(そのほかにも主流から外れた少数の規格がある)。これらはパーソナルコンピュータにもときどき使用されるが、もともとはほかの目的のために設計されたものである。この4種類とは、オープンリールテープ、カセットテープ、1/4インチカートリッジ、ヘリカルスキャンテープである。

23.2　オープンリールテープ

初期のコンピュータのテープメディアは、別々になったテープリールを使用している。これが**オープンリールテープ**と呼ばれるのは、ほかのコンピュータ用テープとは異なり、リールがパッケージに入っていないからである。1950年代から1960年代初頭に見られた独裁者タイプのコンピュータでは、その時代のコンピュータの大きな力を象徴するかのように、前後に動くこの大きなオープンリールが使われていた。この時代では、大きなオープンリールテープがコンピュータの基本的な記憶システムだった。コンピュータが記憶データを検索する作業は、テープの前後の動きによって行われる。この場合、テープの平均アクセス時間は秒単位で、特に、適切なテープを使っていない場合などは、アクセス時間が果てしなく長くなってしまうのは想像に難くない。

オープンリールテープでは、多種多様なフォーマットの中から、1つの規格が急速に発展を遂げた。1/2インチテープと呼ばれるこのテープは、テープ全体が9本の平行なトラックに分けられている。8本の各トラックには1バイトのデータが1ビットずつ記録され、残りの1本のトラックには、パリティチェックの情報が記録される。データは1バイトずつパラレルに、つまりトラックを横断する形で記録される。このような物理的性質から、オープンリールテープは**1/2インチテープ**または**9トラックテープ**と呼ばれることも多い。

リールは、中心の穴の大きさが3インチで、そこにテープが巻かれることにより全体の直径はどこまでも大きくなる。最も一般的な大きさは、直径が7インチまたは10.5インチである。テープの長さはリールの大きさやテープ自体の厚さにより異なり、10インチのリールの場合は、2,500〜3,600フィートのテープが巻かれている。

オープンリールテープの技術が進歩するにつれて、記録される各バイト間の距離は徐々に縮められ、テープ1インチあたりに記録できる情報量は増加していった。オープンリールテープはもともと、FM信号を使用して、テープ1インチにつき800バイトの情報を記録できた。これがMFMに発展したことで、情報量は2倍の1,600bpiに増えた。この数字が現在最も一般的なオープンリールテープの情報密度である。珍しいものでは、3,200bpiまたは6,250bpiの密度を持つものもある。

オープンリールテープでは、**ブロック間ギャップ**と呼ばれるテープの無記録部分で区切られた、個別の各ブロックにデータが記録されていく。このブロック間ギャップの長さは、何分の1インチという長さから数インチという長さまで様々なものがあり、システム全体の性能(ホストコンピュータがどれだけ速く情報をテープとの間で送受信できるかなど)によって決まる。また、テープ長、データ密度、ブロック間ギャップという要素により、1本のテープの容量が決まる。一般的な1,600bpiの密度で、適度なブロック間ギャップの場合、10インチのリール1本でおよそ40Mバイトの容量になる。

以前は、40Mバイトといえばとても大きな容量

と考えられたが、今日のパーソナルコンピュータの標準から見ればそれほど大きいとはいえない。現在では、使用される情報すべてを詰め込めば、とてつもなく大きなリールとなってしまう。これがオープンリールテープの1番大きな欠点である。テープリールが大きくなると、扱いにくく、ドライブも同様に大きくしなければならない。直径10インチ以上のリールの場合、5.25インチのドライブでそのリールを回転させたり止めたりするのは不可能に近い。10インチリールはそれ自体大きく、またそれを速い速度で回すには大きな力が必要になる。つまり、大きく力のあるモータが要るということで、これは、パーソナルコンピュータがコンパクトでなければならないという考え方とは相反する。実際、ほとんどのオープンリールテープ装置と比べると、一般的なパーソナルコンピュータはとても小さく見える。オープンリールテープ装置の中には、「小さい冷蔵庫」といったほうがよいほど大きいものもある。

また、オープンリールテープのドライブは基本的に大量生産はされず、精密な機械であるため値段が高くなる傾向がある。最も安いオープンリールテープシステムでも3,000ドル以上で、高性能なパーソナルコンピュータよりも高い。パーソナルコンピュータ用のほかの周辺機器とは異なり、オープンリールテープの価格は何年も変動が見られなかった。9トラックテープとその価格を変えるような、大きな技術革新は今のところない。

長所をあげるとすれば、システムとデータの保全という点において、メディアの寿命が長いということと、システムが大きいということがあげられる。記録密度が低いため、1本のオープンリールテープの中にはきわめて多くの酸化物の粒子が含まれており、劣化に対する耐久性がある。大きく重いドライブは工業での使用を想定して設計してあるため、概して頑丈で、パーソナルコンピュータに接続した場合には、ほぼ半永久的に使用できるはずだ。

バックアップシステムとしてだけ見れば、オープンリールテープはあまり安い買い物とはいえない。ほかのテープシステム（特にカートリッジ式のもの）のほうが安く、設計上の理由から、同等かそれ以上の信頼性を持っている。大部分の人にとっては、カートリッジ式のテープのほうが扱いやすい。

しかしながら、オープンリールテープはデータ交換用のメディアとしては優れている。どのようなオープンリール装置を使用しても、1600 bpiで記録されたテープなら大抵読むことができる。ブロックの長さやブロック間ギャップは異なっていても、このような違いは比較的容易に補償することができる。オープンリールテープがメインフレームと小型コンピュータの間で情報を移動させるためのメディアとして残っているのはこのような理由による。たとえば、ダイレクトメール用の名簿はオープンリールテープで配布されることが多い。オープンリール装置はこのような世界をパーソナルコンピュータに開放しており、実際ほとんどどのようなシステムとでも何Mバイトという情報の交換が可能である。パーソナルコンピュータ用のほとんどのオープンリールシステムは、テープの交換のしやすさという点に重点が置かれているが、バックアップを取ることについても考慮がなされている。ただし、バックアップ機能については、オープンリールのシステムを購入する際の一番の理由に考えるよりも、付加的なものと考えたほうがよいだろう。

23.3　3480カートリッジ

メインフレームのオペレータは、後にこの環境に現われた後継の装置が受け入れられるまで、20年以上もオープンリールテープの不便さを我慢してきた。新しいテープシステムは、基本的にはカートリッジとオープンリールの性質が混ざり合ったものだが、バックアップ用記憶装置という役割においては、旧式のオープンリールテープに取って代わろうとしている。ただし、また新しいシステムであるため、交換用メディアとしての役割までは、まだ継承したとはいえない。

新しいシステムは、このメディアが最初に搭載されたIBMマシンのモデルナンバーを取って「3480」と呼ばれており、保護カートリッジに入ったオープンリールテープというようなシステムである。テープは、オープンリールテープと同じ1／2インチで、オープンリールテープとほとんど同じような方式でドライブの中を通る。ドライブの機構によって、カートリッジからテープが引き出されてリールに巻かれ、リールの高速な回転によってテープが前後に移動して、データを検索したり書き込んだりする。それが終了するとテープはカートリッジに戻るという仕組みである。実際、カートリッジは奇妙な形をしており、その中にはそれ自体では回転しないリールが納まっている。ユーザーはテープをドライブの中へ簡単に入れられるだけでなく、自動のメカニズムにより、テープを正しい位置にセットしてロードすることができる。このメカニズムは、1950年代に作られた「Wurlitzers」という装置と動きが似ていることから、**ジュークボックス**と呼ばれることが多い。Wurlitzersは25セントで3曲かけられ、中にずらりと並んだレコードの中からかけたい曲を選べるという装置で、この不思議なメカニズムを見て楽しめるよう大きな窓が付けられていた。

3480システムはオープンリールと比べ、テープが取り付けやすいという以外にも、大きな利点を持っている。3480システムにアップグレードするということは、トラックの数が倍になるということでもあるのだ。そして、将来に渡ってさらに1、2回のトラック数の倍増がIBMにより約束されている。IBMから現在提供されている装置では、18トラックが9トラックずつ2組みが並行になった形で同時に書き込まれる。これによってシステムのデータ転送速度やスループットが2倍になっている。また、記録密度はオープンリールテープより高いため、容量が増えると同時にシステムのデータ転送速度も速くなる。このような設計により、オープンリールテープの1／4以下の大きさしかないカートリッジ（3480カートリッジの大きさは4.75×4.25×0.75インチ）で、オープンリールテープよりはるかに多くの、何百Mバイトというデータを記録できるようになっている。

この新技術の欠点は価格が高いことである。現在入手できる3480システムは、いずれもメインフレーム市場向きに設計された非常に高価な（20,000ドル以上）製品である。これに対し、いくつかのメーカーが、3480用のカートリッジをパーソナルコンピュータのアプリケーションとして使用できる（そして購入できる価格帯の）システムに作り変える試みを行ったが、そのシステムではメインフレームの技術を使用したメディアしか共有できず、本来のIBM 3840テープドライブとは異なるデータフォーマットを使用していた。これらのシステムは次第にパーソナルコンピュータの世界から忘れ去られて行ったが、これは恐らく、オープンリールテープの長所を持っていなかったせいであろうと思われる。つまり、これらはメインフレームと情報を交換することができなかったのである。

23.4 カセットテープ

カセットテープは最初、会話を録音するメディアとして登場し、ステレオ音楽の録音メディアとして何千ドルもすることがある機器の市場を生み出したり、また、10～20 ドルの安価なポータブルテープレコーダとして利用されるなど、2 つの道を同時に歩んだ。後者のローエンド機器は、情報を磁気で記録する手段としては、それまでに誕生したものの中では最も安価なものであった。カセットテープは、もともとは音声を録音するメディアとしか考えられていなかったが、モデムのような手段を用いることによって、音に変調されたデジタル信号も記録できるようになった。カセットテープは安価でアクセスがしやすいため、初期のコンピュータマニアはデータを記録するのに好んでこれを使用しており、安価な家庭用コンピュータではほとんどの場合、このカセットテープがソフトウェアの配布用メディアとして、市場で広く使用された。

パーソナルコンピュータが初めて市場に現れたとき、潜水艦の丸窓のように厚い眼鏡をかけた工業評論家たちは、カセットテープは、少なくとも家庭用や趣味として使うコンピュータの市場では、今後も存続していく記憶媒体だと考えていた。IBM でさえ、カセット愛好家の存在に気付き、すべての PC にカセットテープを接続するポートを取り付けた。

しかし、市場に対して近視眼的な見方がされてから 1 年も経たないうちに、パーソナルコンピュータのデータ記憶媒体に採用されたオーディオカセットテープの技術的な欠点、つまりスピードが遅く、連続したアクセスしかできないということが問題となり始めた。カセットテープシステムは、データを音に変調して記録するという方法をとっているため、1,200bps のモデムと同じ程度のデータ転送速度でしか動作できない。また、データを検索する際にはかなりの時間がかかり、ユーザーは勘にたよって早送りボタンを押して検索したりしなければならなかった。このような現実的な問題から、XT 以降の IBM マシンからは、カセットポートは姿を消すこととなった。パーソナルコンピュータにとって原始的な記憶装置であるこのカセットテープは、現在ではほとんど歴史的な興味の対象でしかない。

ところが、ここ数年のうちに、カセット装置はたいへん興味深いものとなってきた。Teac がデータ記憶に焦点を置いた新しい高速カセット装置を開発したのである。このカセット装置は、初期のシステムに使用されていたオーディオカセットの規格を使用しておらず、デジタル記録システムを使用して性能に重点を置いた、カートリッジベースの高価なバックアップシステムであった。このカセットは**デジタルカセット**、または略して D／CAS と呼ばれている。このデータ専用カセットは、現在では二次記憶装置として将来性のあるものと考えられている。

オランダの Philips によって開発(および特許取得)されたオーディオカセットは、扱いにくさと装置にテープを通す際の難しさという最大の欠点を持つオープンリールテープに代わる、多くの試みの 1 つであったが、これは Philips が最初に考えついたものではなく、以前に RCA 社が開発に取り組んでいたものである。RCA 社もこれとよく似たカセットのパッケージを使用していたのだが、こちらの方がパッケージが大きく、不名誉なことに市場では敗退してしまった。Philips によりコンパクトカセットと命名されたこのカセットテープは、便利さと、比較的安価であることから成功をおさめた。コンパクトカセットはハイファイメディアとして設計されたものではなく、中程度の品質を改良したものとして市場に入っていった。RCA 社のカートリッジは薄い本程度の厚さがあったのに対し、このコンパクトカセットはワイシャツのポケットにすっぽりとおさまるほどの大きさで、ポータブルタイプのレコーダーに入れて持ち歩くことができ、とても便利なものであった。小さなサイズと使い勝手の良さから、録音機器に

採用されるようになり、ハイファイ用のメディアとしても使われるようになった（コンパクトディスクが現れるまでは、音楽市場においてカセットテープが最も多く使用された）。

カセットテープの基本的なメカニズムは、プラスチックのパッケージの中にオープンリールテープのリールを2個入れただけのものである。テープは両端がそれぞれ左右のリールにつながっているので、装置にテープを通すという手間がかからず、パッケージでそのテープが保護されている。

左右のテープリールにテープが巻き付いたときにずれないように、パッケージの両側面がテープの両端を抑える働きをしている。その際、テープとパッケージの間の摩擦を減らすために、テフロン加工された潤滑用シートがパッケージ内側とテープの両端の間に入っている。透明なプラスチックの窓からは、両側のリールのテープの巻き取り状態を見ることができ、あとどれぐらい録音または再生できるか目安にすることができる。

カセット内部のリールは、それ自体は単にテープを巻き付ける軸である。その周りにある小さなクリップは、軸にテープの端を留めておくものである。パッケージ内部のあらゆる所にテープを送るガイドがあり、テープが通路を正しく通り抜けるのを助けている。

パッケージは端の部分が厚く作られており、録音／再生用のヘッドやドライブパックがパッケージ内に入り込めるように開けられている。

また、カセットには貴重な音楽や情報を誤って消してしまわないようにプロテクト機構がついている。カセットの後側（ヘッドが挿入される反対側）の両端に、パッケージの穴を覆う形でプラスチックの爪が2つ付いている。カセットレコーダ側にはちょうどこの穴と同じ場所にピンが出ており、このピンが穴に入ると、このカセットテープは書き込み禁止であるということがわかる。この爪を折っておけば誤消去を防ぐことができるわけだ。再び記録できるようにするには、この穴を何かでふさげばよい。セロハンテープ、マスキングテープはもちろんのこと、バンドエイドやファイルホルダーに貼るラベルでも用は足せる。このような穴は2つあり、それぞれテープの表面と裏面を保護するようになっている。パッケージの左上についている爪がテープの表側の面を保護している（パッケージを裏返すと反対側の面が表になるが、その場合も左上の爪がその表の面を保護することになる）。

最近のオーディオカセットには、このほかにもくぼみがあり、カセットテープの種類を自動的に識別できるようになっている。オーディオカセットテープには4種類のタイプがあり、録音する際にそれぞれ異なった設定にする必要があるのだ。

Teacのデータ用カセットテープには、パッケージの背の部分に大きな切り込みがあり、この切り込みがないオーディオカセットテープはTeacのデジタル機構では使用できないようになっている。高速のカセットシステムでは、その磁気の性質と機械的な仕組みの条件に合わせて設計された特別なカセットテープが必要なのである。

Teacの最初のシステムは、1本のテープで2本のトラックを使用し、両方向の記録を行っていた。ただし、このシステムは双方向に走行可能なため、自動的に両面が使用される。つまり、テープを裏返す必要がないと同時に、裏返しでは使用できないということである。識別用に付けられたくぼみの位置が左右対称でないため、テープを裏返して使うことはまったくできなかった。

Teacが最初に発表した「D／CAS」システムでは、1本のテープで60Mバイトのデータを記録できた。そしてこの容量はすぐに拡大され、160Mバイトとなった。さらにTeacは、1991年に新しい装置（型番：「MT－2ST／F50」）を発表し、容量は一気に600Mバイトへと跳ね上がった。この装置では、SCSI－2インターフェイスを使用することで、毎秒242Kバイト情報をテープに転送できる。Teacではこの容量を1993年までに2.5Gバイトへ、さらに1995年までには10Gバイトにする予定である。

23.5 1/4インチカートリッジ

カセットテープが会話を録音するメディアとして初めて登場してから数年後、データ記録メディアとして1/4インチテープカートリッジが初めて3M社から発表された。1972年に最初の製品が市場に姿を現したが、そのころの1/4インチテープカートリッジは、連続したデータの記録を必要とする遠隔通信装置やデータ収集システムといったアプリケーションを想定して設計されていた。この1/4インチテープカートリッジがパーソナルコンピュータ用バックアップメディアとして最も重要なメディアになるとは、誰も想像だにしなかった。当時はまだパーソナルコンピュータ自体が存在していなかったのである。

1/4インチテープカートリッジのそもそものコンセプトは、カセットテープと同じだったと思われる。つまり、オープンリールシステムのリールを2本、扱いやすいプラスチックの箱に入れるということである。しかし、機能、操作、構造の点で、この2つはまったく異なっている。両者が異なるのは、音声を録音するということと、データを記録するということが、そもそもまったく異質なものであるからだ。カセットテープに比べて1/4インチテープカートリッジでは、より高い精密度と操作のしやすさが要求される。このことを念頭に置いた上で、新しい機構が3M社のRobert von Behrenによって設計され、1971年に特許が取得されたのである。

1/4インチテープカートリッジのメカニズム

1/4インチテープカートリッジでは、カセットテープのようなキャプスタンドライブシステムは使用せず、ベルトドライブシステムが採用されている。薄く弾力性のあるベルトが、左右のリールの外側に接触し、ドライブホイールの回りを通って、カートリッジ機構を循環している。ドライブホイールはドライブ側のキャプスタンと接触している。

このキャプスタンがベルトを動かすのであるが、システムが駆動されていないときはテープから離れている。ベルトはテープリールの外側に接触することによってテープを回転させる。この方式は、テープが2つのローラーの間で強く引っ張られながら回転するのと違って、回転させる張力がテープの広い範囲に分散されるため、よりテープに優しいものといえる。また、テープの走行やリールへの巻き取りも、よりスムーズになっている。また、テープの表面にあるもろい磁気面は、読み書き用ヘッド以外には接触しないような機構が考えられている(図23-1参照)。

1/4インチテープカートリッジは耐久性を考慮して、アルミニウムの基礎板をベースにして作られている。カートリッジのそのほかの部分は透明なプラスチック製で、テープの状態や機構の動きが見やすいようになっている。

この設計の基本は、カートリッジ自体がテープドライブとして機能するという点である。カートリッジの中には、テープガイド、テープ、そしてテープを動かす機構が入っている。このため、データカートリッジ側にコストはいくらか高価にはなるが、ドライブは基本的にモータとヘッドだけですむため、逆に安くなる。またこの設計により、テープの位置合わせがかなり正確になり、ドライブ側ではほとんど調整の必要がなくなる。

初期のシステム

3M社の「DC300A」と呼ばれる初期のカートリッジでは、ちょうどペーパーバックの本と同じ大きさのパッケージ(6×4×5/8インチ)に300フィートのテープが入っていた。このカートリッジは、毎秒30インチの速さでテープが走行するように設計されていた。

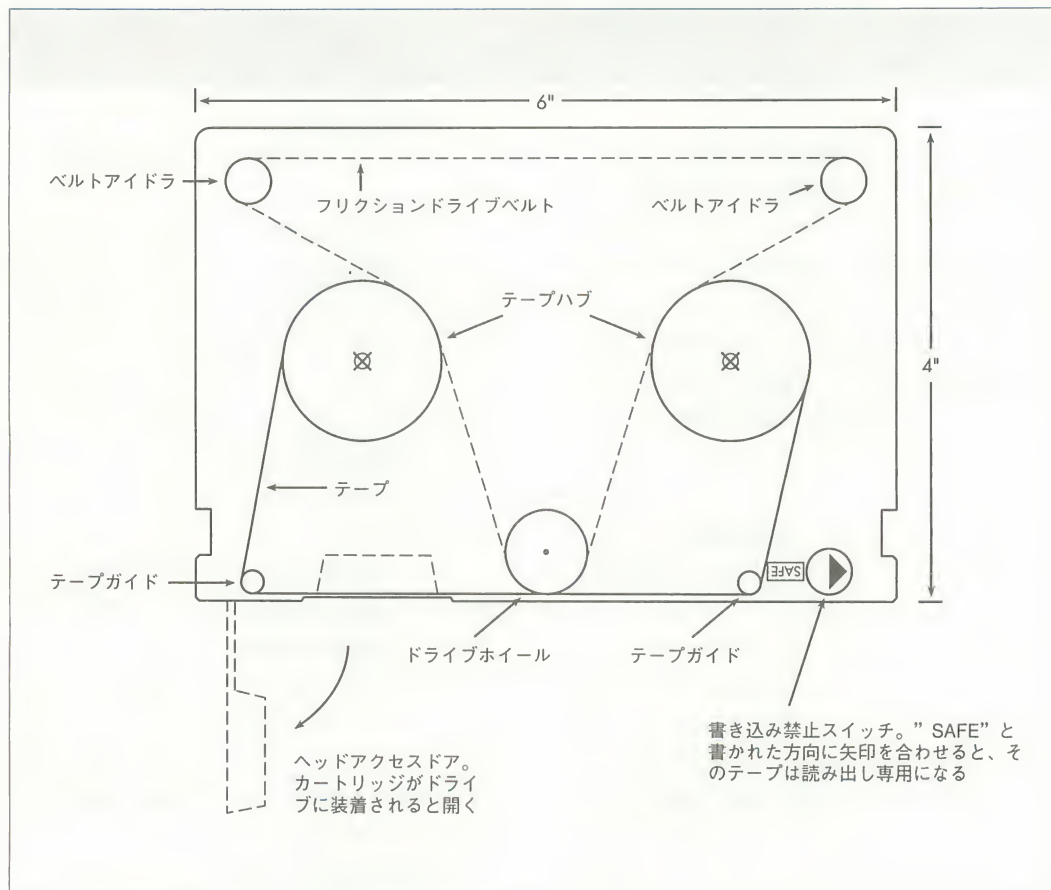



図23-1 1/4インチカートリッジの仕組み
(図はDC−600カートリッジのもので、DC2000も同様だがこれより小型)

位相符号化(PE)方式(単密度記録)により、1,600bpiの密度でテープ上に連続して(1回1トラック)記録できたため、データ転送速度は毎秒48Kビットとなる。一度に使用されるのは2トラックもしくは4トラックである。この仕様のドライブは、3M、Kennedy、Qantax、DEI、IBMなどのメーカーで製造されていた。

1979年、DEI社は、毎秒30インチの速度と1,600bpiの密度のままで、4本の並行なトラックに記録させることで速度と容量を4倍にしたドライブを発表した。この新しいメカニズムでは、標準的なDC300Aカートリッジテープを使用して、毎秒192Kビットのデータ転送速度を達成している。このカートリッジはこの記録方式を使用しても、フォーマット前の状態で1.8Mバイトの容量しかないが(フォーマット後は8インチのフロッピーディスクと同じ1Mバイト)、データ転送速度はコンピュータ産業の興味を引き付けるに十分なものであった。

その1年後、別の新しいDC300Aカートリッジを使用する4トラックドライブが発表された。このシステムの容量は、MFM方式の記録を行うことによって15Mバイトにまで拡大し、データ密度は6,400bpiとなっている。毎秒192Kビットの転送速度と、毎秒30インチの速度は同様に変わりなかったが、データは一度に1トラックずつシリアル形式で転送された。この革新的なドライブは1988年まで生産が続けられていたが、現在の

巨大なパーソナルコンピュータ市場ではもう採用されていない。パーソナルコンピュータ用のアプリケーションとしては、より大きな容量を持つシステムがこれにとって代わっている。

それ以後、テープの長さは再び増加の道を歩み、「DC600」と呼ばれたカートリッジでは600フィートのテープを収納していた。現在のテープ技術も、3M社が最初作ったカートリッジと同じサイズのものを使用しているが、マルチトラックヘッドや高密度記録メディア、エラー訂正機能などの技術おかげで、容量は何Gバイトという値にまで増大している。1つのカートリッジで100Gバイトの容量まで可能だと予想されている。

このDC600型カートリッジという名前は今では過去のものとなっている。ほかのメディアとの違いや、記憶容量に影響するテープの長さの違いを考慮して、新しい名前が付けられている。フルサイズの1／4インチテープカートリッジは現在、「DC6000」型カートリッジと呼ばれている。カートリッジの型番の最後の3桁(3桁でない場合もある)の数字は、大抵テープの容量を示している。

QIC

1／4インチカートリッジを用いた初期の製品で共通しているのはメディアだけだった。ドライブのメーカーはそれぞれ別の方向性を持っており、各社でトラック数やデータ密度が異なるだけでなく、コンピュータ本体との接続方法まで違っていた。このため、莫大なデータをカートリッジに詰め込んでいるユーザーは不安にならざるをえなかった。独占的な仕様ということは、テープにどんな大切なデータが記録されていようと、ユーザーはドライブメーカーの気まぐれに対して常にリスクを負っているということだ。ドライブの製造が中止された場合には、ドライブか壊れてしまったら、二度とテープの読み出しは不可能になる。さらに各社で仕様が異なっているため、各メーカーは技術を継承することなく、一から製品の開発を始めなくてはならなかった。

このようなテープカートリッジ市場の混沌とした状態を改善するため、1982年、ヒューストンでNational Computer Conferenceが開催され、DEI、Archive、Cipher Data、Tandbergの各社が一同に会した。各社は統一規格のもとに製品を製造できるように、標準規格を制定する委員会を作ることを決定した。この組織は〝Working Group for Quarter－Inch Cartridge Drive Compatibility〟と名付けられ、しばしば略して「QIC委員会」と呼ばれた。1987年11月、QIC委員会は正式に、Quarter－Inch Cartridge Standards Inc.という法人組織となった。

QIC委員会は当初、パーソナルコンピュータ市場で直接的な販売を行わないドライブメーカーによって構成されており、寸法などに関する標準化を行っていた。データフォーマットの規格については、システムインテグレーターに開発が委ねられており、一般には各社とも異なった設計を行っていた。時が経つにつれ、QIC委員会は同業者組合となり、フォーマットの規格の必要性も認識されるようになった。今日では、テープを使用するあらゆるレベルのアプリケーションに対して規格を制定している。

QIC委員会が開発し、製品として市場に出回った最初の標準規格は「QIC－02」と呼ばれるもので、DC300テープドライブの9トラックバージョンであった。このドライブは1983年に初めて出荷された。また、「QIC－24」規格は、9トラックのDC6000型カートリッジで、60Mバイトの容量があり、さらに「QIC－120」では125Mバイト、「QIC－150」では18トラックで250Mバイトの容量となった。その後の標準規格では、ドライブの容量が名称の一部に入るようになった。

1990年、525Mバイトの容量を持つQIC互換のドライブである「QIC－525」が初めて市場に登場した。1991年になると、「QIC－1000」で容量が1Gバイトまで引き上げられ、「QIC－1350」では、1.35Gバイトにまでなった。そして、2.1Gバイトの容量を持つ「QIC－2100」は、1992年に出荷が開始された。

容量の増加にともない、データ密度や読み書きのスピードも増加した。今日流通している最大容量のQICシステムであるQIC－1000、QIC－1350、QIC－2100は、酸化鉄をテープに使用し、1／4インチ幅のテープに30本ものトラックが走ってい

る。トラックの数を増やすことなく容量を増やすため、QIC−1000では1インチにつき36Kビット、QIC−1350では1インチにつき51Kビット、QIC−2100では1インチにつき68Kビットのデータ密度で記録されている。さらに高密度のQIC−2100では、ほかの規格のテープが760エルステッドであったのに対し、950エルステッドのテープが使用された。

DC−6000型の大きさのカートリッジが使用される計画中の規格では、容量を増やすため、最初にトラックの数を増やし、後からデータ密度を高くするという方法が採られる。検討中の10Gバイトテープを使用する規格では、テープに144本のトラックを走らせ、同様に35Gバイトの規格では216本のトラックを設けることになる。

ここまでトラック数が増えてくると、トラックを作って1本ずつ区別するのは、単純とはいえ、もはや容易な作業ではなくなってきた。このため、大きな容量のテープを作ろうとする場合には、狭いトラックを数多く作るために、サーボ技術を応用することになる。この技術は、ディスクシステムの中により多くのトラックを詰め込むのと同様の原理に基づいている。これと同様に、最先端の高密度テープシステムでは、磁気メディアからより多くの容量を引き出すデータ符号化方式として、アドバンスドRLLを使用している。

23.6　ミニカートリッジ

1/4インチテープカートリッジの規格に欠点があるとすれば、それは大きさということになる。標準の5.25インチドライブのスロットにこの6×4インチのカートリッジを無理に組み込むのは一種の冒険である。3.5インチドライブのスロットの場合は不可能だ。よりコンパクトなメディアを求めた結果、1/4インチテープカートリッジの製造メーカーは、ドライブのメカニズムは継承しながら、カートリッジのサイズを小さくし、容量も減少させることにした。こうして生まれたのが**ミニカートリッジ**である。QIC委員会はミニカートリッジに従来より小型のサイズを採用し、現在その規格が施行されている。

最初のミニカートリッジがDC−2000という名前で3M社から発売されたことから、ミニカートリッジをDC−2000型カートリッジということも多い。DC−6000型カートリッジと同様に、大部分のミニカートリッジは型番の一部にその容量が示されている。「DC−2080カートリッジ」は容量が80Mバイトであるということを示しており、同様に「DC−2120」の場合は容量は120Mバイトである。

ミニカートリッジのパッケージは3.25×2.5×0.625インチで、最初に開発された時点では、それまで大きなカートリッジに使われていた1/4インチ巾のテープが205フィート入っていた。ドライブは標準の3.5インチドライブベイの中へ簡単に納まる。容量はフルサイズの1/4インチカートリッジよりは小さいが、これは単にテープの量が少ないためで、これでも通常のハードディスクに匹敵するほどの大きさである。QIC委員会では、ミニカートリッジの容量を30Gバイトにまで引き上げてゆく構想を抱いている。

ミニカートリッジのドライブを作っているメーカーの数は、驚くほど少ない。1992年の時点では8社前後だった。Alloy、Ardat（Archiveの系列会社）、Braemar、Colorado Memory System、Irwin Magnetic（これもArchiveの系列会社）、Mountain、3M、Wangtekである。市場ではほかのメーカーの名前も見受けられるが、それらの会社のほとんどはこの8社の子会社である。Maynard社がArchive社の小売り販売会社であったり、Irwin社が現在ではMaynard社の系列に入っていることなどが例としてあげられる。また、SummitはMountain社から分かれて出た製造グループである。

QIC−40

ミニカートリッジで最初に重要な規格になったのは「QIC−40」である。これはもともと、DOSやOS／2用のシステム向けの、低コストのバックアップメディアを意図したものである。ユーザーの出費を抑えるために、ドライブは従来のフロッピーディスクコントローラを使用しているパーソナルコンピュータに接続して使用された。ミニカートリッジの初期のドライブは、パーソナルコンピュータのFDD用ケーブルの空コネクタに差し込んで使用されたため、ミニカートリッジを使用したシステムでは、FDDは1台しか使用できなかった。しかし、最近のフロッピードライブはパーソナルコンピュータ本体に様々な方法で接続されており、2台のドライブが使用できるようになっている。

QIC−40規格では、テープ上には20本のトラックが並んでおり、1本のトラックにつき約2Mバイトのデータを記録できる。各トラックは、1つが29のセクタから成る68のセグメントに分割されいる。そして各セクタには、それぞれ1,024バイトのデータが記録される。また、この規格の記録方式はMFMで、これは普通のフロッピーディスクコントローラの出力に合わせたものである。標準のデータ転送速度およびテープ速度では、情報は10,000 bpiの密度で記録されるが、テープ速度は使用するフロッピーディスクコントローラの種類によって異なっていた。通常密度のコントローラ(360Kバイトのフロッピーしか使用できないタイプ)では、毎秒250Kビットのデータ転送速度なので、この場合のテープ速度は毎秒25インチとなる。高密度のコントローラの場合、データ転送速度は毎秒500Kビットなので、テープ速度は毎秒50インチになる。

またQIC−40では、データフォーマットについても規定されている。セクタはディスクスペースの割り付けとほぼ同じ方法でファイルに割り付けられる。各テープにはファイルアロケーションテーブルと同様の役割をするものがあり、テープ上の不良セクタをリストアップして、品質の悪いメディアを使った場合でも、データエラーが起きないようになっている。テープ上のデータはQIC−40フォーマットに基づき、特別な構成で記録されている(図23-2参照)。

QIC−40フォーマットによるDC−2000型テープの60Mバイトの容量の1／3は、フォーマットの構成やエラー訂正のために使用されている。エラー訂正の方法には2種類あり、1つはCRC方式で、もう1つはリードソロモンコード(RS)方式(効率のよいエラー訂正のアルゴリズムで、ほかにも、惑星間の通信用に実際に使用されている)である。これらの訂正方法を使うことにより、理論上のエラー発生率はごく低くなる(10の14乗回に1回の割合のエラー発生率)。計算してみれば、20万本のテープのうちの1本に1ビットのエラーしか存在しないという意味であることが分かる。さらに、この発生率は、典型的なディスクドライブのエラー発生率よりも低いという結論が得られる。

QIC−40の主な欠点は時間がかかるということである。実際、QIC−40を使うことは忍耐力の訓練になることも多かった。これは、フロッピーディスクのインターフェイスを利用しているため、データ転送速度がフロッピーディスクのスピードに制限されてしまうためである。初期のQIC−40のドライブでも、バックアップを始めるにあたって、読み書き用ヘッドにテープの先端を探し出すよう指示を与えるのに30秒もかかっていた。ヘッドはテープ上のきわめて狭いトラックの上で正しい位置を見つけなければならないのだ。最近のドライブではここまで長くは待たなくてもよいようになっている。

しかし、QIC−40のテープもフロッピーディスクと同様に、使用する前にフォーマットをしなければならない。このテープはフロッピーディスクよりずっと大きな容量を持っているため、フォーマットに必要な時間もそれに比例して長い(各トラックを1回ずつフルスピードでヘッドが走らなければならない)。40Mバイトのテープなら約1時間もかかっていた。フォーマットの時間を短縮するため、QIC−40システムのメーカーの多くは、テープを部分的にフォーマットして少ない容量で使用できるようにした。これより良い解決法として最近のほとんどのメーカーが採用しているのは、**フォーマット済カートリッジ**である。

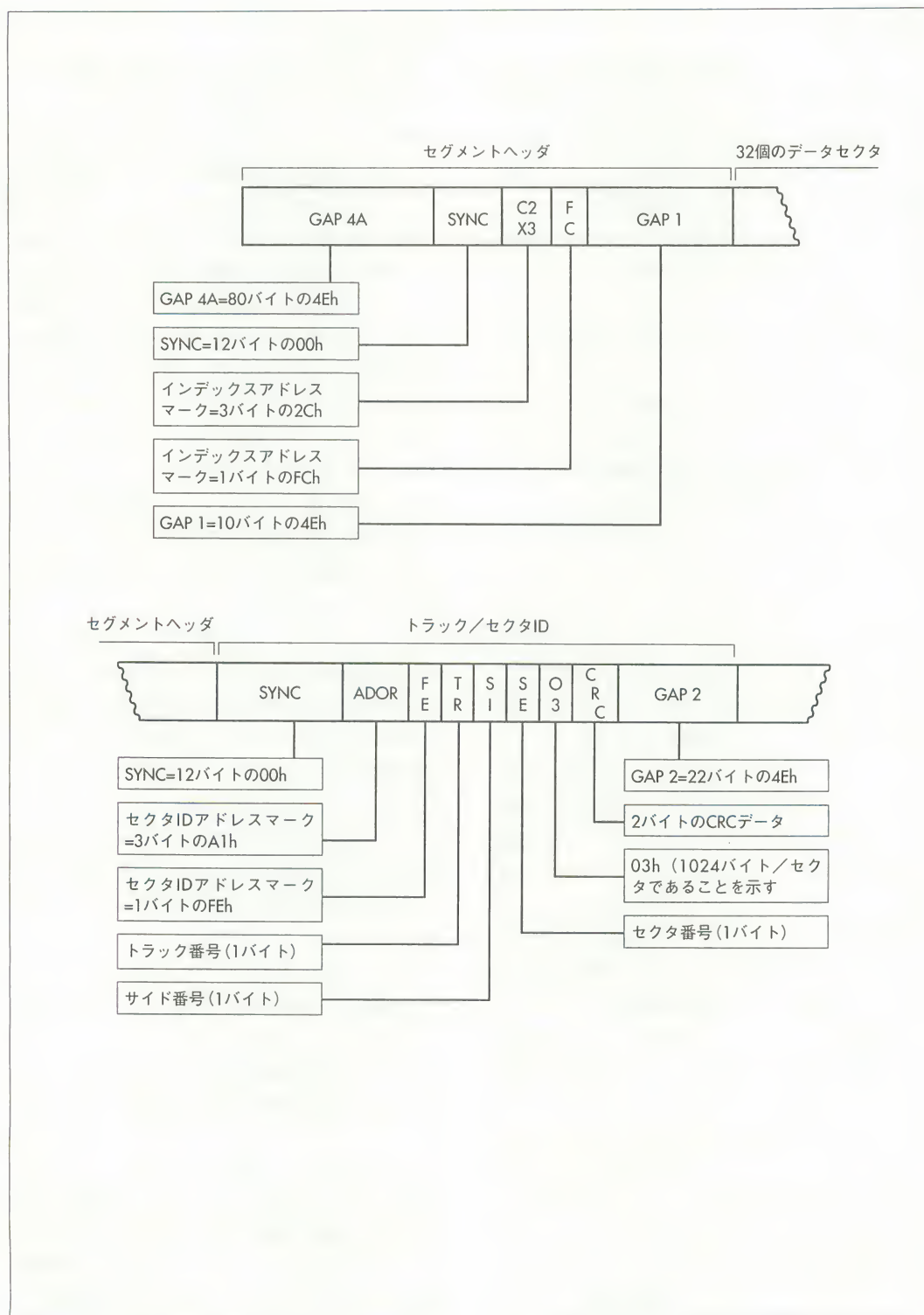



図23-2　QIC－40の論理構造

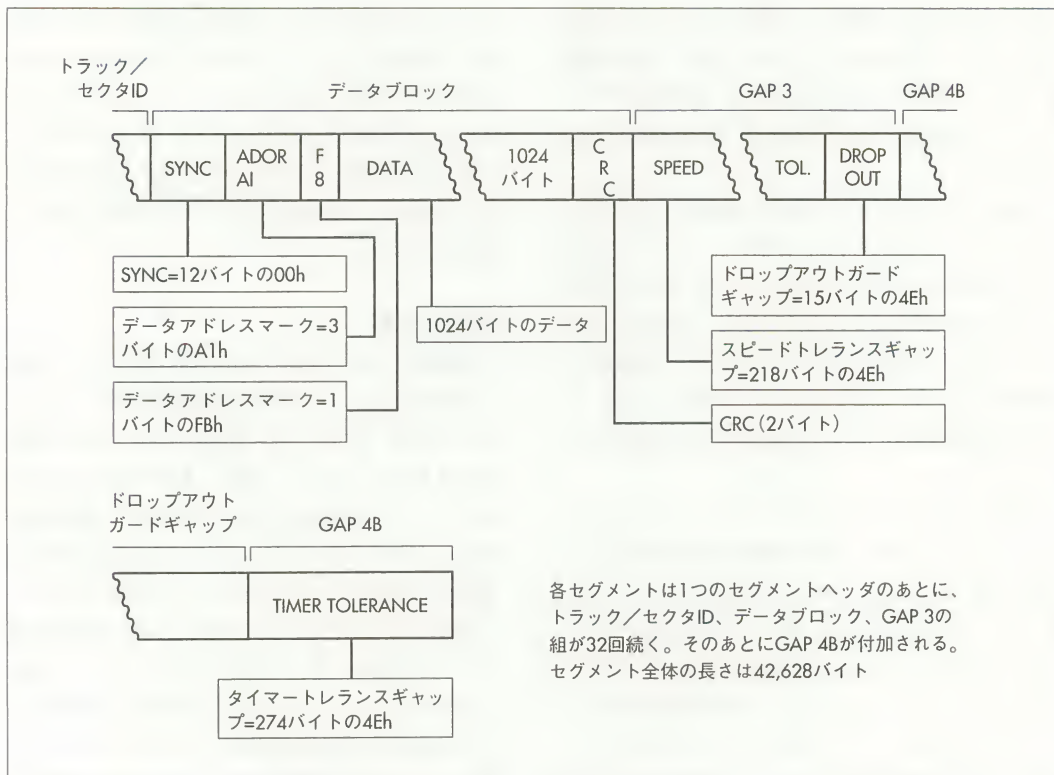



図 23-2 （続き）

メディアのベンダーの多くは、フォーマットしていないディスクと比べてほんの少し上乗せしただけの価格でフォーマットを済ませたカートリッジを販売している。

QIC－40 やそれに続くミニカートリッジにフォーマットが必要だということは、必ずしも欠点とはいえない。フォーマットは手間がかかると同時に多くの利点も持っているのである。たとえば、フォーマット中に不良セクタを見つけ出すことができる。また、テープはファイルアロケーションテーブルと一緒にフォーマットされるため、個々のセクタはランダムにアクセスが可能となる。テープがある特定の位置へ移動しなければならないのは変わりないが、フォーマットをすることによって，各セクタの場所が周りのセクタを参照しなくても一度で特定できるようになる。つまり、1つのファイルを探すためだけにテープ全体を読む必要はなくなるのだ。結果として、QIC－40 のテープはフロッピーディスクの動作を真似することができるわけである（ランダムアクセスの速さは真似できないが）。さらに、テープがフォーマットされていれば、使用途中のテープへのファイルの書き込みが簡単になる。これは、システムがテープのどこにデータを書き込むスペースが残っているかすばやく見つけ出せるからである。

QIC－80

QIC－40 の次なる段階が QIC－80 で、基本的には前の規格をもとにしてそれを発展させたものである。QIC－80 では、テープ上のトラックの物理的配列やデータ密度だけでなく、論理データフォーマットや（これによって、論理的には、あるドライブで作ったテープがほかのドライブでも使用できる。これが最終的に目指しているところである）、エラー訂正（これによって、論理的には、バックアップ元のディスクよりもエラー発生率が低くな

る）、そして自由に選択して使用できるデータ圧縮方式についても規定されている。QIC−80に準拠したテープドライブは、前のQIC−40規格のカートリッジを読むことはできるが、書き込むことはできない。

QIC−40とQIC−80の大きな違いは、QIC−80のテープにはQIC−40より細いトラックがQIC−40より多く走っているということである（QIC−40では20本だったものが、QIC−80では32本になった）。さらに、各トラックのデータ密度は、10,000 bpiから12,500 bpiへと増加している。この基本的な違いによって容量は2倍の80Mバイトとなった。

QIC−80はフロッピーディスクコントローラを使うことができるが、新たに購入する必要はない。QIC−80のインターフェイスは765フロッピーディスクコントローラチップ、またはその相当品をベースにしており、セパレート型ホストアダプタボードまたはパーソナルコンピュータの現行のフロッピーディスクコントローラのスペアチャネルの一部になっている場合がある。この回路がどのような構成をとっているかによって、特定のミニカートリッジシステムのインストールの容易さが決まる。ドライブによっては、システム本体にある予備のFDDコネクタに直接接続できるものもあるが、フロッピーディスクコントローラからの信号が妨げられてドライブに送信されないものもあり、パーソナルコンピュータ内部で配線を変えるなどの面倒な処置が必要となる場合もある。また、専用の回路を持つ拡張ボードを追加する方法もあるが、これもフロッピーディスクコントローラチップをベースにしていることに変わりはない。

QIC−80のインターフェイスは、従来のフロッピーディスクコントローラをベースにしているが、この規格は超高密度タイプのFDDに使用されるもっと高密度なデータ転送速度もサポートしている。この場合の速度は毎秒1Mビットである。1.5倍の長巻タイプのテープもあり、この場合、1カートリッジあたりのQIC−80の容量は120Mバイトまで増加する。大抵のQIC−8Oのシステムでは、オプションとしてデータ圧縮が可能で、実質的には容量を2倍にして使えるとされている（どの圧縮システムの場合でも、圧縮率は圧縮するデータによって異なる。たとえばプログラムのファイルが10%しか圧縮されなくても、グラフィックのファイルなら90%も圧縮されるということもある）。このため、QIC−80のシステムのメーカーの多くは、理論上では最高250Mバイトの容量があると宣伝している。

QIC−100

番号順でいえばQIC−80に続く規格としてQIC−100があるが、この名称は誤解を招くものだ。というのは、QIC−100はQIC−80より古い規格であるからだ。さらに、QIC−40やQIC−80の場合には、その名称からそのシステムの公称容量を知ることができるが、QIC−100の場合はそれとは異なり、40Mバイトしかテープに記録できない。

QIC−40のほかにこの40Mバイトの規格が作られた目的は、その性能の高さにあった。QIC−100では、コントローラをFDDと共用することなく独自のものを使用することによって、より速いデータ転送速度を得ることができたのである。当然ではあるが、専用のコントローラが必要ということで、FDDと共用するシステムよりは費用がかかる。QIC−100はQIC−40やQIC−80などの本流からは外れており、QIC委員会からさえ〝古い規格〟と評された唯一のミニカートリッジ規格である。

QIC−100では、12本または24本のサーペンタイン方式（後述）のトラックに、12,000FRPI（1インチあたりの磁束変化）の密度でデータを連続して記録できる。この規格はQIC−40ほど制限がなく、ブロック長は決められていなかった。QIC−40と同様にQIC−100も使用前にフォーマットをする必要がある。

QIC−100はQIC−128によってその地位を奪われることになった。QIC−128は、QIC−100またはSCSIインターフェイスを使用して、DC2110カートリッジで86Mバイト、DC2165カートリッジで128Mバイトのデータが記録できた。

今後のミニカートリッジ規格

QIC委員会は21世紀まで続いて使用されるメ

ディアとしてミニカートリッジが生き残るように規格を決定した。

QIC−80を引き継ぐ形で、そのすぐ後に設定される予定の規格がQIC−500Mである。この規格では、データ圧縮を使用せずに500Mバイトのデータが記録できる。QIC−500MはQIC−40やQIC−80に対して下位互換性を維持して設計されており、それらの規格で記録されたテープを読み出すことができる。さらに、高い保磁力(900エルステッド)を持つテープを使った新しいカートリッジはQIC−143と命名され、0.5Gバイトの容量を達成することが要求されている。QIC−40やQIC−80と同様に、QIC−500Mのドライブもフロッピーディスクインターフェイスを使用してパーソナルコンピュータに接続できるが、この規格では、ATアタッチメントインターフェイスも使用できる。データ圧縮については、QIC−80とまったく同じアルゴリズムが使用され、これによって実質容量は1Gバイトにまで跳ね上がる。

これらに対して、速度を追求した規格としてQIC−410Mがある。これは、SCSI−2の接続を使用してパーソナルコンピュータに接続できる設計である。この規格は、既存の規格との下位互換性はなく、カートリッジ1本につき410Mバイトしか(圧縮によってこの容量は2倍になる可能性があるが)記録できないが、SCSIインターフェイスによってより高い速度が約束されている。

次なる発展形はQIC−875Mで、QIC−410MやQIC−500Mと同じ900エルステッドのミニカートリッジを使用する設計になっているが、記録できるのは875Mバイトだけである。この規格では、67,733 bpiのデータ密度とテープ上に38本のトラックが必要である。QIC−875に適合するドライブは、QIC−410MおよびQIC−40／80のどちらのテープでも読み出すことができる。また、QIC−875M用のドライブもSCSI−2の接続を使用する。

さらに将来的には、QIC−410Mとの互換性を維持しつつこれを引き継ぐQIC−3GBが登場する。QIC−3Bはカートリッジに新しいタイプのテープを使用したものである。名前が示すとおり、この規格は1本のカートリッジにつき、圧縮せずに3Gバイトの容量があり、圧縮を使うと容量はその2倍になるというものである。

QIC委員会はすでに10Gバイトのミニカートリッジ規格も提案しており、また、35Gバイト記録できるミニカートリッジの構想も持っている。

ミニカートリッジの互換性

QICの標準規格に準拠しているからといって、必ずしも異なったメーカーのドライブ間で、テープの互換性が保証されているわけではない。現行の規格ではテープのデータフォーマットが規定されているが、すべてのテープバックアップシステムのメーカーがこの規格に準拠しているわけではないからである。

この規格には不足している部分がある。実は、テープのファイル構造の正確な配列方法が指定されていないのである。配列は、テープシステムを動かすバックアッププログラムを開発する個々のソフトウェアの開発者に任されている。そのため、テープ自体は異なるメーカーのドライブ間でも共通して使用でき、装置を問わずに読み取ることが可能であるにもかかわらず、読み取った結果をバックアップソフトウェアがファイルに復元できない場合がある。どのシステムのテープからでも1バイトも残さず読み取ることができるが、ファイル構造に互換性がないため、ただデータの山が残るだけという結果に終わってしまう可能性がある(ファイルの区別ができなくなり、場合によってはファイルが混ざってしまう可能性もある)。

23.7 ヘリカルスキャンシステム

これまでに述べたテープシステムに共通している基本的な原理は、動くのはテープであって、ヘッドは固定されているということである。したがって、情報の読み書き速度は、テープの走行速度とデータの記録密度によって決まることになる。ディスクメディアの場合に、データの記録密度とディスクの回転速度によってデータ転送速度が決まるのと同様である。しかし、50年代を振り返ってみると、技術者がTV画像を一般的な記録テープに録画する技術を開発していた当時から、すでにデータ転送速度は開発上のネックになっていた。TV画像は1秒あたり数Mバイトというデータ量になるが、一般的なテープシステムの大部分は毎秒数千バイトの速度しか出せなかったからである。ところが、テープと同様にヘッドも動かせばよいという発想の転換によって、テープとヘッドとの相対速度を増加させることに成功したのである。

当然ではあるが、ヘッドをテープと並行に動かすことはできない。初期のビデオテープ装置では、テープの動きに対してヘッドをほとんど垂直に移動させていた。しかし、数十年の試行錯誤を経た後、テープに対してわずかに傾斜させたヘッドを回転させて、テープ上のらせん状のセクションを走査する方法が、最も実用的なシステムであるという結論に至った。これを**ヘリカルスキャン**記録方式という。現在普及しているヘリカルスキャンシステムは2種類ある。8mmテープと**デジタルオーディオテープ**(DAT)である。

ヘリカルスキャン方式の記録システムでは、ドラム上に回転するヘッドが取り付けられている。テープは保護カートリッジの外で、ドラムの周囲に巻き付けられる。つまり、2本のアームによってテープをカートリッジから引き出し、ドラムを半周するように巻き付けるのである。ドラムは直角からわずかに傾斜させてあるため、ヘッドはテープに対して斜めに回転することになる。ドラムの傾斜角度は、8mmテープでは約5度、DATの場合は約6度である。

ヘリカルスキャン方式の記録システムを使用すると、テープの表面積すべてを利用することができる。従来の固定ヘッドの記録システムでは、データを記録する2本のトラックの間に、**保護バンド**という未使用領域が必要だった。これに対して、ヘリカルスキャンシステムでは、トラックを重ねることができる(実際に重なっている)。8mmのテープシステムでは現在でも保護バンドを使用しているが、DATでは、端が重なり合ったトラックに次々とデータを書き込んでいく。

トラックを重ねることができるのは、実は、ドラム上に回転するヘッドを2つ(もしくはそれ以上)取り付けてあるからである。それぞれのヘッドは、テープ上のトラックに対して異なる角度でデータを書き込む(この角度を**方位角**という)。データの読み取り時には、各ヘッドは、自分と同じ方位角を持った記録データに対しては強く反応するが、異なる方位角のデータには弱い反応しか示さない。DATマシンでは、トラックの垂線に対して、一方のヘッドは前方20度、もう一方のヘッドは後方20度に傾斜させてある。

8mmテープシステム

最も身近な8mmテープ装置としては、8mmビデオカメラがあげられる。高性能の小型8mmビデオカメラを最初に開発したのはSonyである。8mmテープは、後にExabyte社によってデータの記録用に採用され、1987年にパーソナルコンピュータ市場に登場したが、現在のところ、8mmテープを使用したデジタルドライブ装置の販売を行っているのはExabyte社だけである。

テープバックアップシステムとしては、以前はビデオテープレコーダー(VTR)が使用されていた。しかし、VTRでコンピュータのデジタルデータをテープに記録するためには、ビデオ信号と同じアナログ形式に変換する必要があった。Alpha Microsystemsは、Videotraxと名付けた製品にこの方法を採用している。

Videotraxバックアップシステムでは、ハードディスクなどのデータを、ホストコンピュータに装着した1枚の拡張カードによって、従来のビデオテープレコーダーへのバックアップや記録が可能なNTSC (National Television Standard Committee) 規格のビデオ信号に変換する。VTR装置としてはVHS方式とベータマックス方式のどちらでも使用できるが (プロ用のU−maticでもよい)、Alpha MicrosystemsはVHS方式のレコーダーを採用している。Videotraxシステムでは、Alpha Microsystems独自のデジタル―ビデオ信号変換ボードと、パーソナルコンピュータからの遠隔操作が行えるように特殊な改造を加えたVHSレコーダーを組み合わせている。バックアップ時には、ホストコンピュータからテープ操作のコマンドが発行される。また、手動で操作することもできる。

ドロップアウト (テープ上のビデオ信号がわずかに消失すること) の発生を最小限に抑えるために、Videotraxでは、テープ上に同じデータを重複して書き込むようになっている。これを**冗長書き込み**というが、重複データの同一箇所にドロップアウトが発生する確率は統計的に少ないため、この記録操作は有効である。ただし、冗長書き込みには、データを重複して書き込むための時間とスペースが必要になるという欠点がある。80Mバイトのデータをバックアップすると、まる2時間分のビデオテープを消費する。当然、バックアップにも2時間要することになる。

Exabyteが開発した8mmヘリカルスキャンシステムでは、8mmビデオカメラシステムと同じカセットを使用している。カセットのプラスチックシェルには2つのハブがあり、オーディオ用のカセットテープに似ているが、テープの幅が広く (カセットテープが0.150インチであるのに対して、8mmテープは0.315インチである)、テープに傷が付かないように開閉式のドアが付いている。カセットの大きさは3.75インチ×2.5インチで、厚さは約0.5インチある。

Exabyteの8mmテープシステムは、デジタルデータの記録に徹して設計されていたため、ビデオ信号はまったく処理することはできない。

最初の8mmテープシステムでは、ヘッドドラムの回転速度は毎分1,800回転、テープの走行速度は秒速10.89mmで、これによって、1インチあたり819本のトラック密度と、1インチあたり54Kビットの磁束密度を実現していた。これは、カートリッジあたりでは2.5Mバイトの記憶容量に相当する。その後の開発によって、記憶容量は圧縮しない場合で5Mバイトにまで伸び、圧縮した場合には最大10Gバイトに達している。テープの前後の移動速度も速く、特定領域 (およびデータブロック) の発見までに要する時間は15秒以内である。

しかしながら、8mmテープドライブはきわめて高価で、システム一式が数千ドルもする。ドライブ単体でも1,000ドル以上するため、大容量という長所を生かして、ファイルサーバのバックアップ装置としての市場が基本的なターゲットととなる。

デジタルオーディオテープ

音楽を録音するために開発された**デジタルオーディオテープ** (DAT) が、コンピュータ用の記憶メディアとして初めて登場したのは1989年である。DATでは、4mm幅のテープ (**4mmテープ**ということもある) を使用した小さなカートリッジに、大量のデータを記録することができる。最初のDATシステムでは、高さ0.4×幅2.9×奥行き2.1インチの小さなカートリッジに、1.3Gバイトのデータを記録することができた。この大記憶容量の秘密は、保磁力1,450エルステッドの特殊な金属磁性体の粒子を塗布したテープにある (この磁性体は、8mmデジタルテープシステムでも使用されている)。このテープによって、1平方インチあたり114Mバイトの記録が可能になっているが、この記録密度は、現行のコンピュータ用テープメディアの中で最も高い。カセットには、60メートルまたは90メートルのテープが入っている。カセットあたりの記憶容量は、60メートルのテープの場合は1.3Gバイト、90メートルの場合は2.0Gバイトになる。

DATドライブのテープの走行速度は秒速8mmで、1インチの走行に約3秒を要する。しかし、ヘッドドラムの回転速度が毎分2,000回転と速いため、テープ上の1インチ幅に1,869本のトラッ

クを配置して、1インチあたり61Kビットの磁束遷移密度を実現することができる。

DAT技術には重要な長所が2つある。アクセス速度と記憶容量である。オーディオ用のDATメディアが情報への高速なアクセス（高速な選曲）に重点を置いて開発されたため、コンピュータ用のDATでも必要なファイルの発見には約15秒しかかからない。バックアップ用途の場合、アクセス速度はさして重要ではないが、速度が速ければファイルの再生が容易になる。

23.8　標準規格外のテープシステム

メーカーの独自技術を採用した多数のテープシステムがこれまで開発されてきたが、販売市場での結果は様々である。一般的にいって、これら規格外のシステムは、（価格、速度、容量、使いやすさなどの）一部の面に関しては優れているが、システム全体として見ると、標準規格に準拠したものよりも劣っている。そのため、大部分はすぐに消え去る運命となった。それだけの理由があったからである。ときには在庫品を目にすることもあるが、実際には博物館で見る機会の方が多い（博物館入りがふさわしいほどの旧型のパーソナルコンピュータで使用されていることもある）。消え去るべくして消え去ったこの種のシステムには、DC1000カートリッジ、サーボフォーマットテープ、スプールテープの3つがある。

DC1000カートリッジ

DC1000カートリッジは、少し薄くなっていること以外は、DC2000型と長さも幅もほぼ同じであるが、使用するテープは（オーディオ用カセットテープと同じで）幅が150ミル（1,000分の150インチ）である。このテープには10～20Mバイトのデータを記録することができる。200Mバイトのハードディスクが市場の主流になってくると、記憶容量の少ないこのようなシステムの運命は明らかである。

DC1000カートリッジを使用するテープシステムは、主として価格の安さから、成功を収めるのではないかと見られた時期もあった。実際、フロッピーディスクコントローラを使用した場合、DC1000システムは小型コンピュータ用に販売されているテープシステムの中では最も安価である。DC1000システムの市場を制していたのはIrwin Magneticで、実質的にはこれがDC1000製品の標準規格を設定していた。

DC1000システムは、記憶容量が小さい点を除けば、本質的な欠点はない。しかし、ハードディスクの記憶容量の急激な伸びに対抗することができなかった。さらに、QIC規格がDC1000を上回る記憶容量を達成する一方で、DC2000システムの価格が下がってきたことがDC1000システムの衰退の理由である。

サーボフォーマット式ミニカートリッジ

一時期に限ればDC1000は成功した。そのため、Irwin Magneticは同じ技術を、少し大型のDC2000型カートリッジに応用した。DC2000型のテープの標準である「QIC－40」や「QIC－80」の標準フォーマットを使わず、独自の（つまり、QICとの互換性がない）フォーマットを開発したのだ。このフォーマットでは、サーボデータが事前に埋め込まれる。テープ上にサーボデータが埋め込まれていると、読み書きヘッドがテープ上の幅の狭いトラックに位置を合わせるのが容易になるため、精度が劣る安価なテープドライブを使用することができるのである。

繰り返すが、DC1000の技術にはこれといった欠点はない。したがって、QICフォーマットの大容量ドライブがいつか現れるとすれば、この方式を採用すると思われる。一時期とはいえ、DC1000システムは成功を収め、Irwin Magneticはミニカートリッジのテープドライブ市場の半分近くを

制したのである。ところが、他社がQIC－80仕様の製品をIrwin Magentic以下の価格で販売することに成功したため、Irwin Magenticは市場のシェアを失う結果になった。Irwin Magentic製のドライブは現在でも販売されているが、会社自体はArchive社に吸収されて、ほかの事業に組み込まれている。

スプールテープ

一時期、Interdyneというメーカーが、1/4インチカートリッジとオープンリールテープを折衷したようなテープを使用する装置を販売していたことがあった。3480カートリッジからテープだけを取り出して幅を狭くしたようなこのテープを、**スプールテープ**という。この4分の1インチ幅のテープが巻いてあるリールはプラスチックケースに入っており、ドライブに装着すると、自動的にテープが引き出されて、ドライブに内蔵された巻き取りスプールにセットされる。テープを使用する一般的なバックアップシステムと同様、Interdyne製のスプールテープドライブでも、フロッピーディスクコントローラを使用する。このスプールテープは、計算上は、カートリッジがない分だけ、ほかのテープメディアよりも安価になるはずであったが、Interdyneは市場で成功を収めることはできなかった。

23.9 テープ操作

テープドライブの話をする上では、使用されているテープの種類と同様、テープの駆動方式も大切な要点である。多種多様なメディアに対して様々な駆動方式が使用されており、それらがすべて、テープシステムの動作速度や使いやすさに直結している。

調歩式テープ操作

各テープドライブの基本的な相違点は、テープの駆動方式にある。初期のドライブでは、調歩式で読み書きを行っていた。つまり、データをブロック単位（128バイト～数Kバイト）で処理し、1ブロックを受信するたびにテープへの書き込みを行う方式である。この方式のドライブでは、1ブロックの処理が終了すると、次のデータブロックが到着するまでの間、テープの走行を停止する。ドライブは、データを正しく読み取れるように、1ブロックごとにテープの準備を整えた上で、ブロックを識別していく必要があった。パーソナルコンピュータ側でも初期の機種では調歩式のテープ操作が必要であったが、これには別の理由がある。この時期の大部分のパーソナルコンピュータは処理速度が遅く、テープドライブの書き込み速度に合わせてデータを送信することができなかったためである。

ストリーマテープ

1981年、DEIとArchiveは、1/4インチのカートリッジを使用する世界初のドライブシステムを発表した。これが**ストリーマテープ**ドライブである。この製品は、データの受信とテープへの書き込みを連続的に行うことができるため、テープを停止させる必要がない。ブロックの間でテープが停止しないことから、データの受信速度が向上したわけだ。また、停止していたテープを即座に加速したり、テープスプールの回転を止める必要もないため、軽量の駆動機構を使うことで、装置の価格を下げることも可能になった。現在では、パーソナルコンピュータ用テープドライブの大部分で、データの連続的な読み書きが可能になっている。

並行記録方式

コンピュータ用のテープ記録メディアとして初めて標準規格が制定された9トラックテープでは、並行する複数のトラックに垂直にデータを記録す

る。その際、9本のトラックのうちの1本をパリティ用に使用して、8本のデータトラックを垂直に横切る1バイトのデータに対して、1ビットのパリティビットを記録する。このテープは、一度きりの書き込みだけであれば問題ないが、テープの終わりにきたら、次回の書き込みのためにテープを巻き戻さなければならない。

サーペンタイン記録方式

一方、パーソナルコンピュータ用のほとんどのテープシステムでは、データは連続的に書き込まれる。やはり複数のトラックを使用するが、この種のテープシステムでは、**サーペンタイン**記録方式という方法を用いている。データビットは、一度に1トラックずつ、テープの先頭から末尾まで一方向に連続して書き込まれ、テープの末尾に達すると、テープの走行方向が反転し、読み書きヘッドが次のトラックの位置まで1ステップ移動して、そのトラックの書き込みを行う。再度、テープの末尾に達すると、もう一度走行方向の反転とヘッドの移動が行われる。テープ内の全トラックに対して、このプロセスが繰り返される。

23.10　そのほかの注意点

テープドライブやテープを購入する際に問題になるのは、テープのフォーマットだけではない。たとえば、パーソナルコンピュータへのテープドライブの取り付け方(および取り外し方)や、ドライブへのテープの装着方法を考慮する必要がある。

内蔵型ドライブと外付けドライブ

内蔵型ドライブと外付けドライブは、一般的にほとんど同じである。実質的な違いは、内蔵型ドライブの設置にドライブベイの空きが1つ必要なことだけである。外付けドライブは、筐体と接続ケーブルが必要な分、内蔵型のものより概して価格が高いが、1台のドライブを数台のパーソナルコンピュータで共有できるという利点がある(ただし、パーソナルコンピュータごとにホストアダプタが必要になる場合がある)。

外付けドライブのもう1つの利点は、標準的な双方向パラレルポートを通してパーソナルコンピュータと接続できる機種があることである。パラレルポートはほとんどのパーソナルコンピュータに装備されているため、パーソナルコンピュータに接続する際に、ホストアダプタを追加する必要がない。このような機種は、通常、フロッピーディスクインターフェイスを使用するほかの装置の速度に合わせてデータを送信する。定期的なバックアップが必要な複数のパーソナルコンピュータを抱えている場合でも、外付けテープドライブは1台で用が足りる。

設置スペースが取られるのを避けたい場合や、ドライブメーカーが外付けドライブに施した筐体の外装や電源装置分のコストを節約したい場合は、内蔵型ドライブを選択することになる。ほかの内蔵型の周辺装置と同様に、内蔵型テープドライブの設置にもドライブベイの空きが1つ必要で、かつ、そのドライブベイはフロントパネルからアクセスできなければならない。内蔵型ドライブの大部分は、ほかのディスクドライブ装置と同様の電圧を必要とするため(回路にDC 5V、ドライブモータにDC 12V)、標準的なドライブ電源コネクタでパーソナルコンピュータの電源部と接続することになる。

メディアの整合性

ほかのリムーバブルメディアドライブ装置と同様に、カートリッジ(または、それに相当するもの)は、テープドライブが作業を行う直接の対象である。ほとんどのテープメディアは、オーディオ装置やビデオ装置に使用されるテープカートリッジとはまったく異なるが、データテープカートリッジの中には、オーディオ用やビデオ用のカセットと

同じサイズのものがある(D/CAS、8mm、DATなど)。データの精度が保証されているとはいえ、データテープは、オーディオ用やビデオ用のカセットテープで代用したくなるほど価格が高い。コンピュータの世界に限ってみても、メーカーが自社のテープドライブ用として公式に認可しているものではなく、安いミニカートリッジを使用したくなることがある。

しかし、残念ながら、データテープは、保磁力や残磁性など、設計上の特性が異なっている。したがって、基本となるコーディングノッチが合わないため、オーディオカセットテープをD/CASマシンに使用することはできない。一方、オーディオ用やビデオ用のヘリカルスキャン方式のカセットはコンピュータ用のドライブにも使用可能だが、コンピュータ用のメディアにははるかに厳しい条件が求められる。オーディオ用テープでは検出されないほどのわずかなドロップアウトが、コンピュータシステムでは、データエラーやデータ損失につながってしまう。8mmテープの場合はさらに条件が厳しい。8mmビデオテープはアナログ方式による記録用に設計されており、コンピュータシステムでは、同じテープを飽和状態にしてデジタルデータを記録するからである。

メタルテープ専用モードのないオーディオシステムでメタルテープを使用しても、優れた音質は得られないように、データシステムに合わないテープを使用すると、エラーの発生率が著しく高くなる。重要なデータを記録している場合は、ドライブシステムのデータ密度との適合性が保証されていないテープを使用するのは避けるべきである。

バックアップソフトウェア

テープドライブは、実際のバックアップシステムの一部分に過ぎない。システム上で実行するバックアップソフトウェアも、テープドライブと同様に重要である。このソフトウェアによって、テープドライブの可能な機能と使用方法が決まるからである。

現在、市場にあるバックアップソフトウェアは、ほぼすべてがメニュー選択方式になっており、(バッチモードやコマンド駆動方式のオプションといった)定期的なバックアップ処理を自動化する機能を持っている(はずである)。不定期なバックアップしか行わない人は、詳細なコマンド構造を習得する時間が惜しいはずで、このようなメニュー選択方式のソフトウェアは最適である。バックアップ処理を自動化した上で、不定期なバックアップも行う場合には、コマンドモードでの実行が可能なソフトウェア(つまり、正しく機能しているかどうか、パーソナルコンピュータの電源を切らずにおいたかどうかといったことを心配しなくても、ベッドで羊を数えている間に自動的にバックアップを実行してくれる機能があるプログラム)を使用することになる。

一般的にいって、バックアップ方式には2種類がある。イメージ形式のバックアップと、ファイル単位のバックアップである。ただし、ドライブメーカーは、それぞれが自社のテープドライブに合わせた独自のフォーマット規格を開発している。

■ イメージバックアップ

イメージバックアップとは、バックアップの対象のディスク全体をビット単位でコピーすることである。ディスクから読み取られたデータは、内容や構造に関係なく、テープ上に単純にコピーされる。処理上のオーバーヘッドがほとんどないため、イメージバックアップは高速に行うことができる。

イメージバックアップの欠点は、不良トラックや未使用のディスク領域を含む全トラックを読み取るため、バックアップ時とまったく同じドライブを復元することになってしまうことである。これでは、システム間でデータを交換する必要がある場合(ハードディスクがクラッシュしたために、別のハードディスクに交換する場合など)には、明らかに不都合がある。この解決方法としては、テープからハードディスクにファイルを戻すときに必要となるディレクトリ構造やファイル構造を、バックアップ時に同時に保存しておけるようにする機能を、復元プログラムに追加すればよい。

イメージバックアップにはもう1つ欠点がある。ディスク全体のバックアップしか行えないことである。これは、ディスク上の全データをテープに

コピーする場合には最速の方法であるが、ファイルを1つだけバックアップしたい場合には役に立たない。ファイル1つのために、ディスクの中味をまるごとバックアップしなくてはならないのでは、時間の浪費である。

■ ファイル単位のバックアップ

ファイル単位のバックアップでは、ディレクトリやファイルの構造を含めたバックアップが行われる。イメージバックアップに比べて処理速度が低下することが多いが、ディレクトリ構造内のファイルの検索が容易である（したがって、個々のファイルを簡単に復元できる）。

ファイル単位のバックアップの欠点は、ディレクトリやファイルの構造に関するデータを処理する時間が必要になる点である。昔はほとんどのシステムがこの処理に要する時間によって、過酷な減速を強いられていたため、テープの速さに合わせてテープドライブにデータを転送することができなかった。調歩式記録方式にいたっては、バックアップに要する時間は膨大なものとなる。

この状況が変わったのは、高速なパーソナルコンピュータと優れたバックアップソフトウェアが登場してからである。現行のパーソナルコンピュータは大部分が高速で、余裕のある速度でハードディスクのデータを読み取り、処理を加え、テープドライブに転送することができる。ファイル単位のバックアップでは、必要なデータだけを選択してバックアップすることが可能なので、イメージバックアップと比較すると、バックアップ時間の点で有利である。このため現在では、イメージバックアップに代わって、ファイル単位のバックアップを行うのが普通になっている。

ファイル単位のバックアップシステムでは、テープへの書き込みの対象とするファイルを、数種類の方法で指定することができる。これまで、ファイル名の入力、ファイル固有の特性の入力、画面表示されたファイルリストからの選択などの方法が多く利用されてきた。

ファイル固有の特性を使用すると、ファイルの選択が容易になる。ファイル指定メニューの選択肢に加えられていることが多い最も一般的な特性には、アーカイブビット、日付スタンプ、ディレクトリなどがある。アーカイブビットは、前回のバックアップの対象になったかどうかを示すものである。日付スタンプを利用すると、特定の日付を指定して、その日以降に変更が加えられたファイルだけをバックアップすることができる。ディレクトリを指定すると、それより下にある全サブディレクトリのファイルがすべてバックアップされる。ソフトウェアによっては、名前や特性を指定して、それに該当するファイルをバックアップの対象から外すという機能を持つものもある。

テープシステムでは、通常、各バックアップ作業に名前を付けることができる。名前を付けておくと、たとえば、テープのカートリッジに紙のラベルを貼り忘れた場合でも、テープを区別してファイルを読み取ることができる。また、紛失や盗難があっても機密データが漏れることがないように、パスワードを記録する機能を持っているシステムも多い。

コストの問題

バックアップシステムを選択する場合の最大の問題はコストである。速度、記憶容量、互換性、使いやすさなど、高機能を求めれば切りがない。

パーソナルコンピュータ用で現在最も高価なシステムは、9トラックのオープンリールテープを使用するものである。9トラックのオープンリールテープは、ほかのコンピュータシステムでの使用やデータ交換が容易な上、データの機密保護もほぼ万全であるため、現在も一定の地位を占めている。ヘリカルスキャンシステムは次に価格が高い。大容量や先進的な回転ヘッドの技術に価値を認める場合は、これが購入の対象となる。

1／4インチカートリッジでは、DC6000タイプの大型システムが最も高価だが、それだけに、現在のところ最高速のシステムであり、記憶容量も大きい。

テープの必要経費

リムーバブルメディアシステムでは、メディアにかかる費用がすぐにハードウェアの価格を超えてしまう。ユーザーは購入するテープの本数を制

限したくなるほどだ。

一般的にいって、全データを3回バックアップできるだけのテープメディアがあれば、当面は十分であると思われる。念のためにもう少し余裕が欲しい場合（たとえば、曜日ごとにバックアップデータを残しておきたい場合など）は、それが可能なだけのメディアを購入する必要がある。定期的なバックアップを行う人は、ほとんどが6～10本のテープを使用している。

テープにかかる経費には、磨耗による定期的な交換も考慮する必要がある。カートリッジ方式のハードディスクメディア以外は、テープメディアもディスクも必ず少しずつ磨耗する。

メディアの耐用年数は使用頻度によって決まる。メディアメーカー大手のDEIによると、DC6000型カートリッジは、読み書きヘッドの通過回数でいえば、5,000～6,000回の通過に耐えうる。大型コンピュータの管理者の中には、50回程度の使用でテープを交換する用心深い人もいるが、DEIによれば、年1回の交換を目安にするとよいとのことである。

バックアップの用途以外に目を向けた場合、システム間の価格差には別の見方が出てくる。たとえば、メインフレームのテープにどうしてもアクセスする必要がある場合や、情報交換を行いたい場合は、予算には目をつむって、オープンリールテープドライブを購入せざるをえない。

バックアップ計画

優れたバックアップシステムとは、（定期的に）使用する気になるシステムであるといえるだろう。バックアップシステムの価値は、機能や価格ではなく、使いやすいかどうかで決まる。操作が容易で最も便利なシステム（そして、トラブルが発生したときの処理が容易なシステム）に注目すべきである。

どのようなバックアップハードウェアを選ぼうとも、バックアップシステムが必要であることには変わりない。バックアップシステムには、ハードウェアだけでなくソフトウェアも必要である。バックアップシステムを生かすためには、まずハードディスク上の全ファイルをバックアップし、その後は厳密な予定を定めて定期的なバックアップを行う必要がある。

バックアップの全過程を監視するつもりならば、バックアップシステムが高速であるほど楽である。しかし、一晩中パーソナルコンピュータの前に座ってバックアップを監視する気がない場合（そして、バックアップの全課程が正常に行われると信じている場合）は、自動バックアッププログラムを活用して、意味のない時間の浪費を避ける方が賢明である。終了するのを待つ必要がなければ、バックアップの所要時間は問題にならない。

たとえ速度が遅いものでも、バックアップシステムはあるに越したことはない。思い出したときにしかバックアップを行わない場合でも、バックアップデータがまったく存在しない場合よりもましである。ハードディスクのクラッシュを一度経験すれば、たとえバックアップにどれほど時間がかかろうとも、現在のデータを残しておくことの価値を思い知るはずである。

最良のバックアップシステムとは、定期的なバックアップ作業を行う気になるものであり、最悪の事態が発生した場合でもデータの安全を保証するシステムである。（まれにしか）使用されないバックアップシステムは、バックアップシステムとはいえないのだ。

索　引

Symbols

Numbers

F

G

H

I

O

P

Q

R

S

T

U

V

オ

カ

キ

ク

ケ

コ

サ

シ

ツ

テ

ト

へ

ホ

マ

■著者紹介

本書の著者Winn L. Roschは、1981年からパーソナルコンピュータに関する著述活動を始め、今日までおよそ1千冊近くに及ぶ著作が出版されている。それらの著作は、パーソナルコンピュータに関する論評からハウツーガイド、ニューテクノロジーの背景に至るまでを広く網羅したものである。1987年には、その中の1つがComputer Press Associationの〝Best feature article of the year〟に選ばれ、1990年には別の著作で同賞の次点を授賞している。最新作は、『The Winn L. Rosch PC Upgrade Bible』(Brady, 1991年)、『The Micro Channel Architecture Handbook』(共著, Brady, 1990年)である。現在著者は、『PC Magazine』、『PC Week』、『PC Source』、『Computer Shopper』の監修者として同誌に寄稿している。また、その記事や著書はフランス、イタリア、ドイツ、ギリシャ、ポルトガルなど様々な国で翻訳出版されている。

Winn L. Roschは、著作活動のかたわら、オハイオ州で州認定弁護士を務め、法学博士という肩書きも持つ。また、Ohio State Bar Association's Computer Law committeeの任命により、現在もその委員の任に就いている。

著者の職歴は、フォトジャーナリスト、エレクトロニクスジャーナリスト、放送関係のエンジニアといった多彩なもので、過去には10年間にわたってオハイオ州最大の日刊紙である『The Cleveland Plain Dealer』紙で、ステレオやビデオ製品についてのコラムを担当し、定期的にライフスタイル関連の特集記事や写真なども寄稿していた。クリーブランド在住の現在も、いくつかのラジオ局ではチーフエンジニアとして、さらに、NBCやCBSネットワークのエレクトロニクス関連番組のプロジェクトに参加し、活躍を続けている。

余暇には、自宅の冷蔵庫で自然発生の実験を試みたり、先カンブリア紀についての文献研究も欠さないということである。

■翻訳・監修

神代敏彦(くましろ・としひこ)
株式会社アクシス　代表取締役社長

■編集協力

菅野 康一

●本書の内容に関するご質問は、小社スーパーアスキー編集部まで、封書（返信用切手同封のこと）にてお願い致します。
電話によるお問い合わせには、応じられません。
なお、本書の範囲を越える質問に関しては、お答えできない場合もあります。
●落丁・乱丁本は、送料当社負担にてお取り替え致します。
お手数ですが、小社営業部までご返送ください。

IBM PC　ハードウェアバイブル

1994年8月11日　初版発行

著　者　Winn L. Rosch（ウィン ロッシュ）
監　訳　神代 敏彦（くましろ としひこ）
発行人　宮崎 秀規
編集人　土屋 信明
発行所　**株式会社アスキー**
〒151-24　東京都渋谷区代々木4-33-10
振　替　00140-7-161144
大代表　(03)5351-8111
出版営業部 (03)5351-8194（ダイヤルイン）
スーパーアスキー編集部 (03)5351-8125（ダイヤルイン）

制　作　株式会社GARO
印　刷　大日本印刷株式会社

編　集　竹田 善太郎／佐々木 三奈

ISBN4-7561-0294-8　　Printed in Japan

●11858

定価◉6,800円[本体6,602円]

ISBN4-7561-0294-8

C3055 P6800E